

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Návrh a nastavení elektrických ochran**  
**pro rozvodnu R22 kV Ropice**  
**Project and Adjustment of Switching**  
**Station Protections**

2009/10

Jaroslav Lacman

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 3. 5. 2010

.....  
Jaroslav Lacman

**PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Dr.Ing. Zdeňku Medvecovi a konzultantovi Ing. Milanu Blokšovi za cenné rady a připomínky k této práci.

Jaroslav Lacman

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá popisem elektrických ochran po teoretické stránce a řeší nastavení ochran pro rozvodnu R22 kV Ropice. V první části práce je proveden teoretický rozbor ochran, který je zaměřen na chránění vedení a transformátorů. Druhá část diplomové práce je věnována výpočtu zkratových poměrů v elektrizační soustavě. V třetí části je uveden popis transformátorů, rozvodny 110 kV a 22 kV a ochran rozvodny v Ropici. Následně je proveden výpočet pro nastavení ochran společně s jejich popisem. Nastaveny jsou nadproudové a zkratové stupně, zemní směrová ochrana a ochrana proti proudové nesymetrii.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Nadproudová ochrana, distanční ochrana, rozdílová ochrana, generátor, transformátor, přípojnice, vedení, rozvodna, zkrat, zemní spojení, přepětí, podpětí, proudová nesymetrie, selektivita, rychlost působení, citlivost, spolehlivost

**ABSTRACT**

This diploma work deals with description of electrical protection theoretically and solves an adjustment of switching station protection. There is a theoretic analysis of protection that is focus in transmission line protection and transformer protection in the first part. The second part of diploma work deals with calculation of short-circuit ratios in power system. In the third part there is description of transformers, 110 kV and 22 kV switching station and switching station protection in Ropice. Subsequently the calculation is fulfilled for the adjustment with description. The overcurrent release, short-circuit current release, earth fault protection and protection against current unbalance are adjusted.

**KEY WORDS**

Overcurrent protection, distance protection, differential protection, generator, transformer, busbar, transmission line, switching station, short circuit, earth fault, overvoltage, undervoltage, current unbalance, coordination, speed, sensitivity, reliability

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$c$	napětový součinitel	( - )
$\Delta t$	časové zpoždění	( s )
$I$	proud	( A )
$I'$	proud na sekundární straně jisticího transformátoru	( A )
$I_0$	zbytkový proud	( A )
$I_k$	ustálený zkratový proud	( A )
$I_k''$	počáteční souměrný rázový zkratový proud	( A )
$I_{k1}''$	počáteční souměrný rázový jednofázový zkratový proud	( A )
$I_{k2}''$	počáteční souměrný rázový dvoufázový zkratový proud	( A )
$I_{k2min}''$	minimální dvoufázový souměrný rázový zkratový proud	( A )
$I_{k3}''$	počáteční souměrný rázový třífázový zkratový proud	( A )
$I_{k3max}''$	maximální třífázový souměrný rázový zkratový proud	( A )
$I_{kmin}$	nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku	( A )
$I_{ks1}$	jednofázový souměrný rázový zkratový proud rozvodny	( A )
$I_{ks3}$	třífázový souměrný rázový zkratový proud rozvodny	( A )
$I_n$	největší dovolené zatížení vedení	( A )
$I_r$	rozběhový proud	( A )
$I_{r1pr}$	rozběhový proud nadproudového stupně na primární straně JTP	( A )
$I_{r1sek}$	rozběhový proud nadproudového stupně na sekundární straně JTP	( A )
$I_{r2pr}$	rozběhový proud zkratového stupně na primární straně JTP	( A )
$I_{r2sek}$	rozběhový proud zkratového stupně na sekundární straně JTP	( A )
$I_{th}$	ekvivalentní oteplovací proud	( A )
$i_p$	nárazový zkratový proud	( A )
$i_z$	poměr záběrného a jmenovitého proudu motoru	( - )
JTP	jisticí transformátor proudu	
$k$	bezpečnostní stupeň	( - )
$k_b$	koeficient bezpečnosti	( - )
$k_c$	koeficient citlivosti	( - )
$k_p$	přídržný poměr	( - )
$m$	součinitel pro časově závislý tepelný účinek SS složky	( - )
$n$	součinitel pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky	( - )
OZ	automatika opětného zapnutí	
$P_{knT}$	jmenovité ztráty nakrátko transformátoru	( W )
$P_u$	jmenovitý převod jisticích transformátorů napětí	( - )
$p_b$	převodový poměr	( - )
$p_i$	jmenovitý převod jisticích transformátorů proudu	( - )
$R_F$	činný odpor poruchy	( $\Omega$ )
$R_k$	činný odpor vedení na 1 km délky	( $\Omega$ )
$R_O$	činný odpor paralelního odporníku	( $\Omega$ )
$S_{k1}$	jednofázový zkratový výkon	( VA )

$S_{k3}$	třífázový zkratový výkon	( VA )
$S_{kmax}$	maximální počáteční souměrný rázový zkratový výkon	( VA )
$S_{kmin}$	minimální počáteční souměrný rázový zkratový výkon	( VA )
$S_{ks1}$	jednofázový souměrný rázový zkratový výkon rozvodny	( VA )
$S_{ks3}$	třífázový souměrný rázový zkratový výkon rozvodny	( VA )
$S_{nG}$	jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru	( VA )
$S_{nM}$	jmenovitý zdánlivý příkon motoru	( VA )
$S_{nT}$	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru	( VA )
$S_{rtAB}$	jmen. zdánlivý výkon transformátoru mezi stranami A a B	( VA )
$S_{rtAC}$	jmen. zdánlivý výkon transformátoru mezi stranami A a C	( VA )
$S_{rtBC}$	jmen. zdánlivý výkon transformátoru mezi stranami B a C	( VA )
$T$	doba periody	( s )
$T_k$	součet dob trvání pro všechny zkratové poruchy	( s )
$t$	čas	( s )
$t_{r(n-1)}$	největší kladná chyba časového členu předcházející ochrany	( s )
$t_{rn}$	největší záporná chyba časového členu následující ochrany	( s )
$t_{setr}$	setrvačnost systému ochrany	( s )
$t_{v(n-1)}$	doba vypnutí vypínače předcházejícího úseku	( s )
$t_{vyp}$	vypínací čas ochrany	( s )
$t_z$	záložní čas	( s )
$U$	napětí	( V )
$U'$	napětí na sekundární straně transformátoru	( V )
$U_0$	zbytkové napětí	( V )
$U_i$	vnitřní napětí zdroje naprázdno	( V )
$U_{kmax}$	největší zbytkové napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku za nejnepriznivějšího stavu	( V )
$U_{min}$	nejmenší pracovní napětí	( V )
$U_n$	jmenovité sdružené napětí zdroje, popř. sítě	( V )
$U_{nG}$	jmenovité napětí alternátoru	( V )
$U_{nM}$	jmenovité napětí motoru	( V )
$U_{nT}$	jmenovité napětí transformátoru	( V )
$U_r$	rozběhové napětí	( V )
$U_{rtA}$	jmenovité napětí transformátoru na straně A	( V )
$U_v$	vnitřní napětí zdroje	( V )
$u_{bmax}$	poměrné stropní budicí napětí	( % )
$u_k$	napětí nakrátko transformátoru	( % )
$u_{RrAB}, u_{XrAB}$	jmenovitá činná a jalová složka napětí nakrátko v procentech mezi stranami A a B	( % )
$u_{RrAC}, u_{XrAC}$	jmenovitá činná a jalová složka napětí nakrátko v procentech mezi stranami A a C	( % )

$u_{RrBC}, u_{XrBC}$	jmenovitá činná a jalová složka napětí nakrátko v procentech mezi stranami B a C	( % )
$X_d''$	rázová reaktance generátoru	( $\Omega$ )
$X_k$	reaktance vedení na 1 km délky	( $\Omega$ )
$X_{s1max}$	maximální zkratová reaktance na straně 110 kV	( $\Omega$ )
$X_{s1min}$	minimální zkratová reaktance na straně 110 kV	( $\Omega$ )
$X_{s2max}$	maximální zkratová reaktance na straně 22 kV	( $\Omega$ )
$X_{s2min}$	minimální zkratová reaktance na straně 22 kV	( $\Omega$ )
$x_d$	nenasycená synchronní reaktance v poměrné hodnotě	( - )
$x_d''$	poměrná rázová reaktance generátoru	( - )
$x_k$	reaktance mezi svorkami stroje a místem zkratu	( - )
$Z$	impedance	( $\Omega$ )
$Z_{(0)}$	netočivá náhradní impedance soustavy	( $\Omega$ )
$Z_{(1)}$	sousledná náhradní impedance soustavy	( $\Omega$ )
$Z_{(2)}$	zpětná náhradní impedance soustavy	( $\Omega$ )
$Z'$	impedance nastavená na distanční ochraně	( s )
$Z_L$	impedance vedení	( $\Omega$ )
$Z_M$	jmenovitá impedance motoru	( $\Omega$ )
$Z_S$	impedance sítě	( $\Omega$ )
$\varphi$	fázové posunutí	( $^\circ$ )



**OBSAH**

ÚVOD.....	1
1 TEORETICKÝ ROZBOR ELEKTRICKÝCH OCHRAN.....	2
1.1 Požadavky kladené na ochrany.....	2
1.2 Základní členy ochran.....	3
1.3 Rozdělení ochran.....	7
1.4 Ochrany vedení.....	7
1.4.1 Nadproudové ochrany .....	8
1.4.2 Distanční ochrany.....	11
1.4.3 Srovnávací ochrany.....	13
1.4.4 Automatiky opětného zapnutí.....	14
1.4.5 Ochrany při zemním spojení.....	15
1.4.6 Ochrany přípojníc.....	17
1.5 Ochrany transformátorů.....	18
1.5.1 Rozdílová ochrana transformátoru.....	18
1.5.2 Proudová zkratová ochrana transformátoru.....	19
1.5.3 Plynové relé.....	19
1.5.4 Nádobová ochrana.....	19
1.5.5 Ochrana při přesycení primárního napětí.....	19
1.5.6 Tepelná ochrana.....	20
1.5.7 Distanční ochrana transformátoru.....	20
2 TEORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTU ZKRATOVÝCH PROUDŮ .....	21
2.1 Názvosloví zkratových veličin.....	21
2.2 Postup výpočtu.....	22
2.3 Výpočet parametrů prvků soustavy.....	23
2.4 Výpočet zkratových proudů.....	26
3 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU NA ROZVODNĚ ROPICI 110/22 KV .....	28
3.1 Schéma rozvodny Ropice 110/22 kV .....	28
3.2 Transformátory 110/22 kV.....	28

---

3.3 Rozvodna 110 kV.....	29
3.4 Rozvodna 22 kV.....	30
3.5 Ochrany a automatiky.....	30
3.6 Ostatní prvky a systém rozvodny.....	31
4 NÁVRH A POPIS OCHRAN PRO ROZVODNU R22 KV ROPICE.....	32
5 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ PRO NASTAVENÍ OCHRAN... ..	35
6 NASTAVENÍ NADPROUDOVÝCH OCHRAN.....	48
ZÁVĚR.....	55
LITERATURA.....	56
PŘÍLOHY.....	57

## ÚVOD

Vlivem velkých nároků na spolehlivost dodávky elektrické energie odběratelům s bezpečným a spolehlivým chodem zařízení, ochrany v elektrické síti zaujímají velice důležitou roli. Především je nezbytná jejich spolehlivost, citlivost, rychlost a selektivita.

V současnosti přicházejí do popředí především digitální ochrany, zatímco analogové se téměř už nepoužívají. Hlavní výhoda digitálních ochrany vůči analogovým spočívá především ve zvýšené spolehlivosti, v zabudování více typů ochrany a zajištění více informací pro dispečink a technické pracoviště. Moderní kombinované ochrany mohou mít v sobě zabudovanou ochranu nadproudovou nesměrovou i směrovou, napětovou, zemní a mnohé další typy ochrany společně s automatikou opětovného zapnutí.

V sítích vn nacházejí uplatnění především nadproudové ochrany, jejichž hlavní výhoda spočívá ve vzájemné záloze. Pro vedení vvn se používají především distanční ochrany, které vyhodnocují impedanci zkratové smyčky a umožňují lokalizovat vzdálenost místa zkratu od rozvodny. Digitální distanční ochrany používají zejména polygonální charakteristiky.

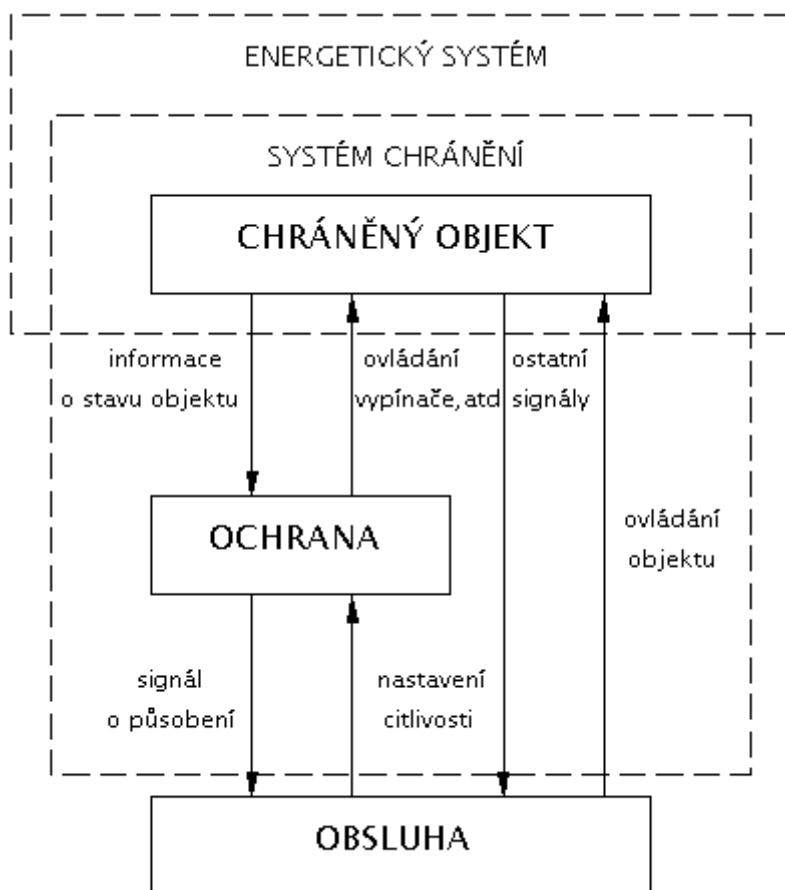
Jedním z nejdražších a nejdůležitějších prvků elektrizační soustavy je transformátor. Pro jeho chránění je vedle nadproudové ochrany především podstatná ochrana rozdílová, která nachází využití také pro chránění generátorů a vedení. Dalšími důležitými ochranami transformátorů jsou nádobová ochrana a plynové relé.

Toto jsou nejpoužívanější ochrany elektroenergetiky, ve které se vyskytuje celá řada dalších typů, o kterých pojednává teoretická část této diplomové práce. Praktická část diplomové práce se zabývá výpočtem nastavení ochrany pro vedení vn rozvodny Ropice.

Znalost ochrany v rozvodu je náročným tématem elektroenergetiky, které klade požadavky na rozsáhlé znalosti ostatních technických oborů s tímto souvisejících, tzn. znalosti především přechodných jevů, vlastností el. strojů a stability elektrizační soustavy.

## 1 TEORETICKÝ ROZBOR OCHRAN [1,2,7,9,10,11]

Ochrana je zařízení energetického systému, která kontroluje chod určité části tohoto systému a dle okamžitého stavu chráněného objektu vydává signál o působení na chráněný objekt. Ochrana získává signál pro působení z měřicího transformátoru a musí zapůsobit při poruše. Informace o chráněném objektu jsou v ochraně zpracovány a ta musí rozlišit, zda se jedná o poruchu nebo normální stav. Chráněným objektem se rozumí vedení, transformátor, přípojnice nebo generátor.



Obr.1 – Blokové schéma chránění

### 1.1 POŽADAVKY KLADE NÉ NA OCHRANY [7,9]

#### Selektivita

Selektivitou se rozumí schopnost vypínat pouze ten prvek, na kterém vznikla porucha a zároveň nenarušit části daného systému, které jsou v normálním stavu. Selektivity dosahujeme časovým odstupňováním působení ochrany pomocí odstupňování úrovně nastavené veličiny.

### Rychlost působení

Rychlost působení omezuje nebezpečné následky, které mohou poruchy způsobit. Při rozběhu motoru a při dalších tzv. nenormálních situacích nastavujeme na ochraně delší čas. Reakce nejrychlejších ochranných bývá v rozmezí 0,02 - 0,04 s. Vypínací doba výkonových vypínačů činí 0,05 - 0,06 s. Celková doba působení zkratového proudu je dána součtem těchto časů. V případě aplikace časového odstupňování se jedná zároveň také o záložní funkci ochrany a v tomto případě je rychlost působení ochrany podstatně delší.

### Citlivost

Citlivost je dána rozlišovací schopností ochrany pro poruchy uvnitř a vně chráněného objektu. Ochrana musí zareagovat už při hodnotě nižší než je poruchová veličina. Koeficient citlivosti ochrany je dán poměrem zkratového proudu v místě ochrany a proudu, při kterém ochrana už zapůsobí.

### Spolehlivost

Spolehlivost musí zaručit bezporuchové působení ve všech případech, pro které je ochrana navržena. Spolehlivost dosahujeme náhradou mechanických dílů za elektrické, kvalitou součástí ochrany, jednoduchou konstrukcí a dodržováním předpisů použití.

## **1.2 ZÁKLADNÍ ČLENY OCHRAN [1,2]**

### Vstupní člen

Vstupní člen převádí vstupní veličiny na zpracovatelný signál. Jmenovité vstupní hodnoty jsou 100 V, 5 A nebo 1 A. Vstupní členy jsou obvykle tvořeny děličem napětí, bočníkem nebo převodním meziklasifikátorem. Někdy je aplikován na vstup měřicího členu stejnosměrný signál. V tomto případě je vstupní člen také tvořen usměrňovačem.

### Popudový člen

Popudový člen dává popud ochraně k rozběhnutí v případě vzniku poruchy. Informaci posílá měřicímu členu a logice. Popudový člen nerozhoduje o tom, zda patří daná porucha do kompetence ochrany. O tomto rozhoduje měřicí člen a logika. Popudový člen má obvykle větší citlivost než měřicí a není nezbytné, aby byl stejného typu jako měřicí.

### Logika

Logika dostává signál z popudu, určuje funkci z měřicího členu a následně stanovuje, co bude provádět koncový člen. Logiku ochrany lze realizovat pomocí klasického pomocného relé, jazýčkového relé, diody, tranzistoru nebo programovým vybavením.

Měřicí člen

Určuje vlastnosti ochrany. Úkolem tohoto členu je měřit poruchovou veličinu a určit hranici mezi normálním stavem a poruchou. Nejvíce částí ochrany je závislých na měřicím členu. Měřicí členy analyzujeme dle charakteru funkce.

Rozeznáváme dva základní typy: amplitudový a součinnový měřicí člen. Součinnový měřicí člen měří fázi mezi vstupními veličinami. Do amplitudových měřicích členů spadají všechny ostatní, tzn. závislý, nezávislý, rozdílový člen a amplitudový komparátor.

1. Amplitudový komparátor

Slouží k měření vstupních veličin a působí při překročení nastavené hodnoty  $K$ .

Rozlišujeme následující čtyři typy těchto členů:

- a) Střídavý amplitudový měřicí člen na střední hodnotu:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt$$

- b) Střídavý amplitudový měřicí člen na efektivní hodnotu:

$$K = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

- c) Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

- d) Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu:

$$K = \max[x(t)]$$

2. Závislý měřicí člen

Doba působení ochrany je v tomto případě závislá na hodnotě vstupní měřené veličiny. Ochrana nepůsobí pro hodnoty měřené veličiny menší než hodnota  $x_\infty$ .

Pro hodnoty  $x > x_\infty$  je vybavovací čas  $t = K/(x - x_\infty)^n$ . Tímto časem vybavujeme závislé proudové ochrany proti přetížení, kde může vstupní veličina poškodit chráněný objekt akumulací energie.

### 3. Rozdílový měřicí člen

Tento člen srovnává velikost dvou vstupních hodnot a působí v případě, kdy je jejich rozdíl větší než nastavená hodnota  $K$ . Rozdílové měřicí členy se používají v rozdílových ochranách k porovnání vstupních veličin. Rozlišujeme rozdílový člen na střední a efektivní hodnotu.

Rozdílový měřicí člen na střední hodnotu:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt$$

Rozdílový měřicí člen na efektivní hodnotu:

$$K = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|]^2 dt}$$

### 4. Amplitudový komparátor

Jedná se o speciální případ rozdílového členu, u kterého je citlivost blízká nule. Využívá se nejčastěji v distančních ochranách.

Rovnice amplitudového komparátoru:

$$\int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt \geq 0$$

Za předpokladu, že jsou veličiny harmonického průběhu a jedná-li se o napětí a proud, potom lze uvést tento tvar rovnice:

$$|\overline{I}| - |\overline{U}| \geq 0 \Rightarrow \frac{\overline{U}}{\overline{I}} = |\overline{Z}| \leq 1$$

### 5. Součinný měřicí člen

Uplatnění nachází v ochranách, které měří činný a jalový výkon.

Rovnice součinného členu je následující:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) x_b(t) dt$$

Mají-li veličiny  $x_a(t)$ ,  $x_b(t)$  harmonický průběh, potom lze psát:

$$K = x_a x_b \cos \varphi$$

Za předpokladu, že vstupní veličiny  $x_a$  a  $x_b$  jsou harmonického průběhu, součinnový měřicí člen měří činný výkon.

#### 6. Fázový komparátor

Vyhodnocuje rozdíl dvou fází vstupních veličin. Výstupní signál je nezávislý na amplitudě vstupních veličin.

Rovnice fázového komparátoru:

$$\arg \overline{x_a} - \arg \overline{x_b} \leq \pm 90^\circ, \varphi \leq 90^\circ$$

Jestliže vstupní veličiny představují harmonické napětí a proud, potom:

$$\arg \overline{U} - \arg \overline{I} = \arg \frac{\overline{U}}{\overline{I}} = \arg \overline{Z} \leq \pm 90^\circ, \varphi \leq 90^\circ$$

Uplatnění nachází fázový komparátor u srovnávacích ochran.

#### Časový člen

Časový člen slouží k prodloužení působení ochran za účelem zajištění selektivity. Záložní ochrany by měly působit později než ochrana určená k přímému chránění objektu. Časový člen také zabezpečuje zpožděné zapůsobení ochrany v případech, kdy se jedná o přetížení, při kterém nedochází k takové akumulaci tepelné energie, která by mohla ohrozit chráněný objekt. U krátkodobých ochran s pomocí časového členu vylučujeme chybné působení ochran. Zde může být příkladem náraz magnetizačního proudu transformátoru při zapnutí.

#### Koncový člen

Koncový člen vyhodnocuje signál z logiky a vypíná chráněný objekt nebo provádí signalizaci. Nejčastěji je koncový člen tvořen pomocným relé s výkonovými kontakty.

#### Napájecí člen

Napájecí člen bývá nejčastěji realizován prostřednictvím staniční akumulární baterie. Jedná se o nejspolehlivější řešení, které ovšem vyžaduje důkladnou údržbu.



Zajištění ochrany proti rušení lze provést galvanickým oddělením, kde je napětí z akumulátoru rozstřídáno pomocí střídače, poté je galvanicky odděleno transformátorem, usměrněno a stabilizováno. Další alternativou napájení je použití střídavé sítě. Tato varianta napájení není tak spolehlivá jako výše uvedené napájení pomocí akumulátoru. Napájecí člen tvoří filtr ke snížení zvlnění. V případě pomocného střídavého napájení, napájecí člen obsahuje transformátor a usměrňovač. Další variantou je napájení z přístrojových transformátorů. U digitálních a tranzistorových ochran se používá napájení přes stabilizátor.

### 1.3 ROZDĚLENÍ OCHRAN

#### 1.3.1 Dle chráněného objektu

- Generátor, motor, transformátor, přípojnice, vedení

#### 1.3.2 Dle druhu poruchy

- Zkratové, proti přetížení, podpětňové, přepětňové, podfrekvenční, nadfrekvenční, při zemním spojení, při zpětném toku výkonu, při ztrátě buzení, při nesouměrnosti

#### 1.3.3 Dle doby působení

- Mžikové, časově závislé, časově nezávislé

#### 1.3.4 Dle konstrukce

- Elektromechanické, statické, digitální

#### 1.3.5 Dle funkčního principu

- Proudové, napětňové, distanční, rozdílové, srovnávací, jalové, wattové, frekvenční, při nesouměrnosti

### 1.4 OCHRANY VEDENÍ [1,2,4,5,9]

Ochrany vedení mohou být stupňové nebo srovnávací a rozdílové. Stupňové ochrany využívají časové prodlevy pro vytvoření selektivnosti působení. Potom vypínací charakteristiky mají stupňový tvar. Vypínací čas je pevně nastaven a nebo je funkcí velikosti proudu. Měla by zapůsobit ochrana, která je nejbližší poruchy. V případě selhání působení je ochrana zálohována další ochranou s delším časem. Ochrany mají tedy i záložní funkci. Stupňové ochrany vedení dělíme na nadproudové nezávislé směrové či nesměrové, nadproudové závislé ochrany a distanční ochrany.

Srovnávací a rozdílové ochrany reagují okamžitě téměř bez časového zpoždění a působí při poruše uvnitř chráněného objektu. Porovnávají proudy nebo fáze proudu na vstupu a výstupu chráněného objektu. Ochrany na začátku a konci chráněného úseku jsou spojeny spojovacím vedením (přednostně optická spojovací cesta). Toto spojovací vedení může být zdrojem poruch, což znamená nevýhodu pro tyto ochrany. Jestliže se v chráněném úseku vyskytne porucha, srovnávané hodnoty jsou rozdílné a ochrana zapůsobí. Citlivost těchto ochran musí být na nízké úrovni, aby nedocházelo k zapůsobení ochrany při zapínacích rázech. V opačném případě je toto řešeno blokováním.

### 1.4.1 NADPROUDOVÉ OCHRANY

Nadproudové ochrany se používají především u vedení vn. Měří proud a působí při přetížení nebo zkratu. Nadproudové ochrany dělíme na nezávislé, závislé, polozávislé a mžikové. Ochrany s nezávislou charakteristikou působí v určitém čase  $t_k$  při dosaženém zkratovém proudu  $I_k$ .

Závislou charakteristiku lze popsat rovnicemi:

$$t = \frac{K}{(I - I_\infty)^n} \text{ pro } I > I_\infty, \quad t = \infty \text{ pro } I \leq I_\infty$$

Polozávislá ochrana se chová do určitého proudu  $I_0$  stejně jako závislá nadproudová ochrana. Při proudu větším než je tento hraniční  $I_0$ , charakteristika přechází na konstantní. Mžiková ochrana působí okamžitě při určité hodnotě zkratového proudu. Čas působení je limitován vlastními možnostmi ochrany a bývá 5 až 10 ms.

#### Nezávislé nadproudové ochrany

Nezávislé ochrany nacházejí uplatnění u vedení vn, kde je řada úseků spojena v sérii za sebou a v sítích radiálních. Nejtěžší zkraty nejbližší ke generátoru jsou vypínány v nejdelším čase, čili nejkratší vypínací čas má ochrana umístěná nejdále od zdroje. Avšak výhodou je vzájemná záloha těchto ochran. Vedení vypíná vždy ochrana nejbližší k poruše v nastaveném čase. Při selhání ochrany zastoupí ochrana s delším časem pro vypnutí o koordinační interval. Časové nastavení jednotlivých ochran za sebou je posunuté o tento koordinační interval  $\Delta t$ . Tedy selektivita je dosažena časovým odstupňováním, kde stupeň časové selektivity je dán vztahem:

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z$$

Stupeň časové selektivity by měl být dostatečně dlouhý tak, aby nedocházelo k nesprávnému zapůsobení ochrany následného úseku. Zároveň by měl být čas co nejkratší, aby nedocházelo k příliš velké časové prodlevě celého systému nadproudových ochran.

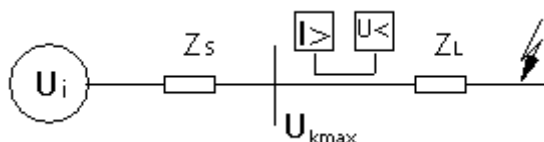
Stupeň časové selektivity bývá 0,2 až 0,5 s.

Rozběhový proud nadproudové ochrany pro první stupeň musí být větší než největší dovolený proud vedením. Rozběhový proud nadproudového relé pro druhý stupeň se určuje z níže uvedeného vztahu. Výpočet musí vycházet z nejmenšího zkratového proudu, tudíž za minimální zkratový proud se dosazuje dvoupólový zkratový proud.

Nastavení rozběhového proudu prvního stupně:  $I_r \geq \frac{k_b I_n}{k_p p_i}$

Nastavení rozběhového proudu druhého stupně:  $I_r < \frac{I_{k \min}}{k_c p_i}$

V úsecích řazených za sebou musí být koordinace proudových ochran taková, že ochrana vzdálenější od zdroje musí být citlivější než ochrany umístěné blíže ke zdroji. Udává se, že rozběhový proud n-tého úseku by měl být 1,1-1,3 násobek rozběhového proudu předcházejícího n-1 úseku. Selektivitu nadproudových ochran je možné zvětšit podpět'ovým blokováním.



Obr.2 – Schéma s podpět'ovým odblokováním nadproudové ochrany

Nastavení rozběhového napětí pro působení podpět'ové ochrany:

$$\frac{U_{\min} k_p}{k_b p_n} > U_r > \frac{U_{k \max} k_c}{p_n}$$

Podpět'ovým blokováním nadproudové ochrany dosáhneme zvýšení selektivity. Pokles napětí při zkratu závisí na impedanci sítě a vedení. Největší zbytkové napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku je dáno:

$$U_{k \max} = Z_L I_k = Z_L \frac{U_i}{Z_s + Z_L}$$

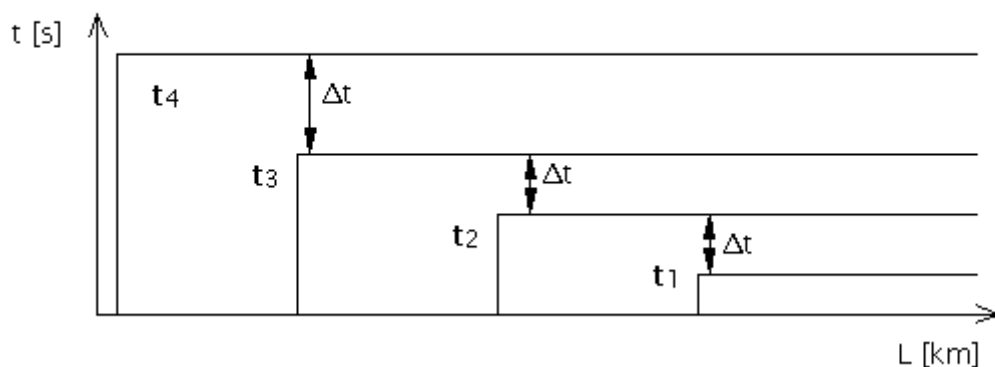
Z výše uvedené rovnice lze odvodit následující vztahy:

$$Z_s = Z_L \Rightarrow U_{k \max} = \frac{U_i}{2}$$

$$Z_s \ll Z_L \Rightarrow U_{k \max} = U_i$$

Toto znamená, že v případě dostatečně tvrdého zdroje je napětí  $U_{k \max}$  téměř rovno napětí zdroje naprázdno. V případě rovnosti impedance vedení a sítě, zbytkové napětí v místě zapojení ochrany při zkratu se dostává dokonce až na poloviční úroveň napětí zdroje naprázdno.

Kombinace nadproudové ochrany s podpět'ovým odblokováním nachází uplatnění na silně zatížených krátkých vedeních.



Obr.3 - Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran

### Závislé nadproudové ochrany

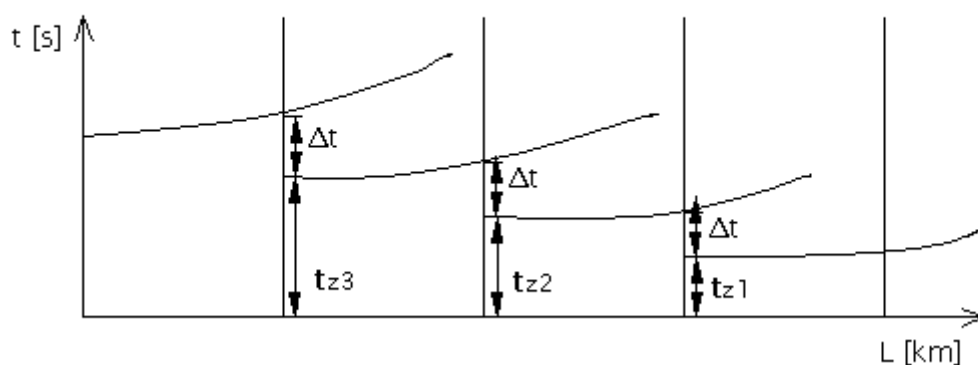
Vypínací čas těchto ochran je závislý na velikosti protékajícího proudu. Jejich vypínací charakteristika má tvar hyperboly. Stupeň časové selektivity u závislých ochran je větší než u ochran nezávislých.

Pro závislé nadproudové ochrany platí:

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_{setr} + t_z$$

Časový selektivní stupeň je větší z důvodu setrvačnosti. Setrvačnost systému ochran činí přibližně 0,3 až 0,4 s. Stupeň časové selektivity je dvojnásobně větší proti stupni časové selektivity ochran nezávislých.

Výhodou závislých nadproudových ochran je zkrácení doby vypnutí na začátku vedení. Nikdy nesmí dojít ke kombinaci závislých a nezávislých nadproudových ochran na totožné síti z důvodu možného křížení charakteristik.



Obr.4 - Vypínací plán závislých nadproudových ochran

### Směrové nadproudové ochrany

Směrové nadproudové ochrany nacházejí uplatnění v sítích, kde místo zkratu může být napájeno ze dvou stran. Použití nesměrových ochran by vedlo k neselektivnímu vypínání. Směrové nadproudové ochrany jsou vybaveny směrovým článkem, který umožňuje zapůsobení ochrany v definovaném směru. V opačném případě zapůsobení ochrany blokuje. Směrový článek bývá realizován indukčním nebo elektrodynamickým relé u elektromechanických ochran. Pro směrové ochrany se používají relé nezávislé. Proudové nastavení je obdobné a časová selektivita je dána vztahem pro nezávislé ochrany.

### **1.4.2 DISTANČNÍ OCHRANY**

Distanční ochrany měří napětí a proud v místě připojení. Vyhodnocují impedanci zkratové smyčky a působí v případě, že tato změřená impedance je menší než nastavená. Distanční ochrany je možné také využít jako lokátory poruchy, neboť lze zjistit vzdálenost místa poruchy od rozvodny.

Členy distančních ochran:

- a) popudový člen
- b) měřicí člen
- c) směrový člen
- d) časový člen

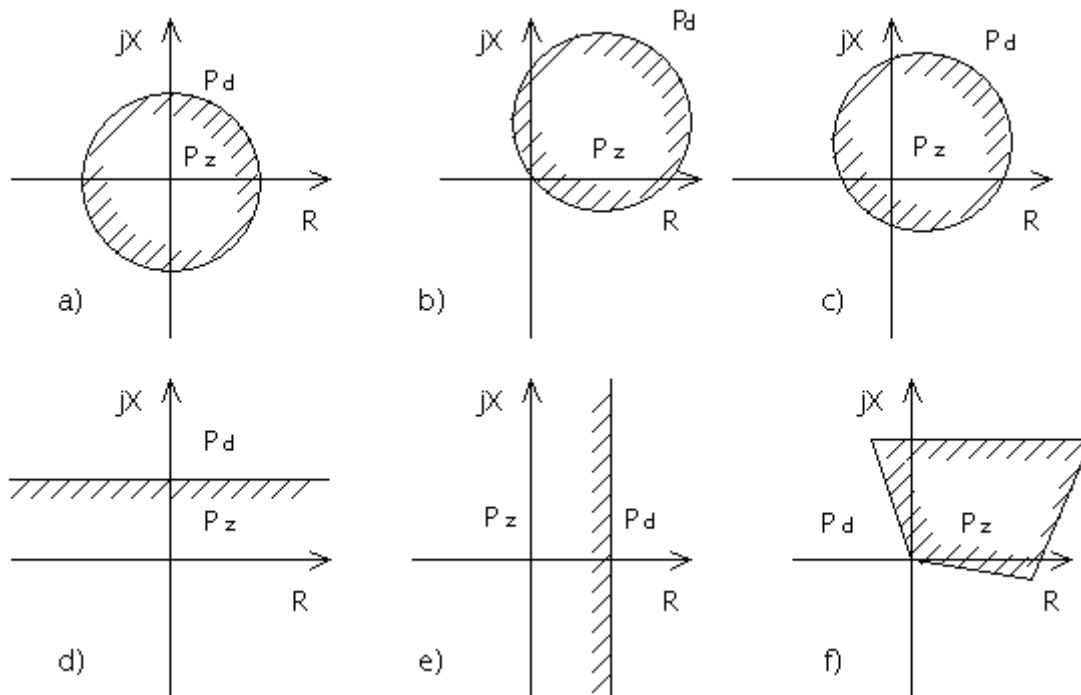
Popudový člen distančních ochran může být nadproudový nebo podimpedanční. Nastavení nadproudového měřicího členu je shodné s nastavením u nadproudových nezávislých ochran. Pokud distanční ochrana obsahuje podimpedanční popud, nastavení podimpedančního popudu musí být takové, aby nepůsobil při normálním provozu.

Měřicí člen ochrany vyhodnocuje impedanci. Bývá realizován jako amplitudový či fázový komparátor. Směrový člen zjišťuje, jakým směrem má být impedance měřena a časový člen nastavuje zpoždění ochrany po porovnání změřené a nastavené impedance. Charakteristika měřicích členů znázorňuje, při jakých impedancích ochrana zapůsobí.

Rozlišujeme následující typy charakteristik měřicích členů:

- a) impedanční charakteristika
- b) charakteristika typu mho
- c) charakteristika typu offset-mho
- d) reaktanční charakteristika
- e) odporová charakteristika
- f) polygonální charakteristika

U digitálních ochran se používají prakticky jen polygonální charakteristiky.



Obr.5 - Typy charakteristik měřicích členů distančních ochran

Všechny typy distančních ochran na vedení mají více stupňů působení, tudíž je zajištěna vzájemná záloha. Na každém z těchto stupňů je nastavena hraniční impedance pro zapůsobení ochrany. Stupeň časové selektivity u distančních ochran je stejný jako u ochran nadproudových. Vypínací čas je určen nastavením časového zpoždovacího členu a je nezávislý na impedanci.

Nastavení impedancí pro zapůsobení u jednotlivých stupňů ochrany:

1.stupeň:  $Z_1 = kZ_{AB}$

2.stupeň:  $Z_2 = k(Z_{AB} + kZ_{BC})$

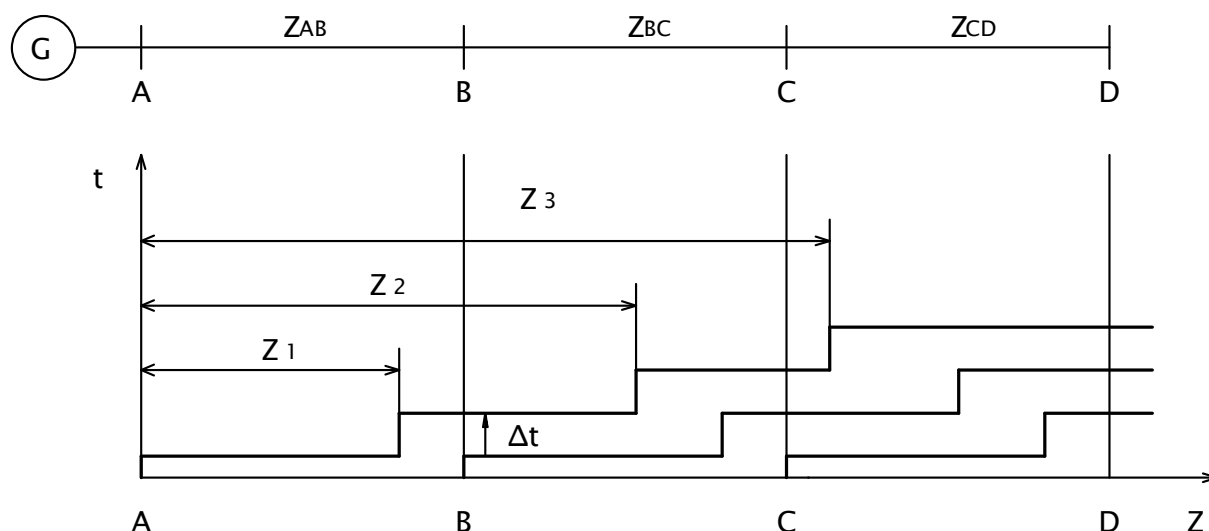
3.stupeň:  $Z_3 = k[Z_{AB} + k(Z_{BC} + kZ_{CD})]$

4.stupeň: dle citlivosti popudového členu

Bezpečnostní stupeň  $k$  bývá nastaven na 80 % z důvodu zabránění neselektivního vypínání ochran.

Vždy je nutné přepočítat impedanci na sekundární vinutí měřicího transformátoru dle vztahu:

$$\bar{Z}' = \frac{\bar{U}'}{\bar{I}'} = \frac{p_i}{p_u} \bar{Z}; \quad \bar{U}' = \frac{\bar{U}}{p_u}; \quad \bar{I}' = \frac{\bar{I}}{p_i}$$



Obr.6 - Vypínací plán distančních ochran

Jak je patrné z vypínacího plánu distančních ochran, výhoda spočívá v tom, že nejtěžší zkraty nejbližší ke zdroji jsou vypínány v nejkratším čase. Distanční ochrany se používají na vedení vvn.

### 1.4.3 ROZDÍLOVÉ A SROVNÁVACÍ OCHRANY

Rozdílové ochrany vyhodnocují poruchu dle rozdílu fázorů proudu na vstupech a výstupech chráněného objektu. Používají se pro různé chráněné objekty. Chráněným objektem může být kromě vedení také transformátor, generátory, bloky, motory, tlumivky a přípojnice. Porucha je detekována ve chvíli, kdy je rozdílová hodnota proudu větší než určitá nastavená hodnota. Rozdílové ochrany mohou být příčné nebo podélné.

Proto, aby ochrana nepůsobila chybně při zkratech mimo chráněný objekt, musí být proudy sekundárního vinutí JTP při bezporuchovém chodu chráněného objektu na obou koncích stejné v amplitudě i fázi. Z tohoto důvodu ochrany obsahují vinutí pracovní a kompenzační. Kompenzačním vinutím se eliminuje skutečnost zapůsobení už v normálním stavu. Kompenzační proud kompenzačního vinutí blokuje možnost sepnutí ochrany v normálním stavu.

Srovnávací ochrany jsou obvykle velice rychlé. Slouží k porovnání vstupní a výstupní veličiny, tzn. porovnávají fázový posuv proudu na obou koncích chráněného objektu. Zajišťují vypnutí chráněného objektu na obou koncích. Tyto ochrany jsou ve svém použití kompromisem mezi rozdílovými a distančními ochrany. Jakost přenosu signálu už není takovou prioritou jako u rozdílové ochrany, kde by při chránění delších linek docházelo k útlumu signálu, což by negativně působilo na funkci rozdílové ochrany. Pro správnou funkci srovnávací ochrany je nezbytné to, aby věrně přenášela fázi bez ohledu na amplitudu. Je vhodná tam, kde není realizovatelné použít distanční ochranu vlivem příliš krátké vzdálenosti pro správnou funkci distanční ochrany.

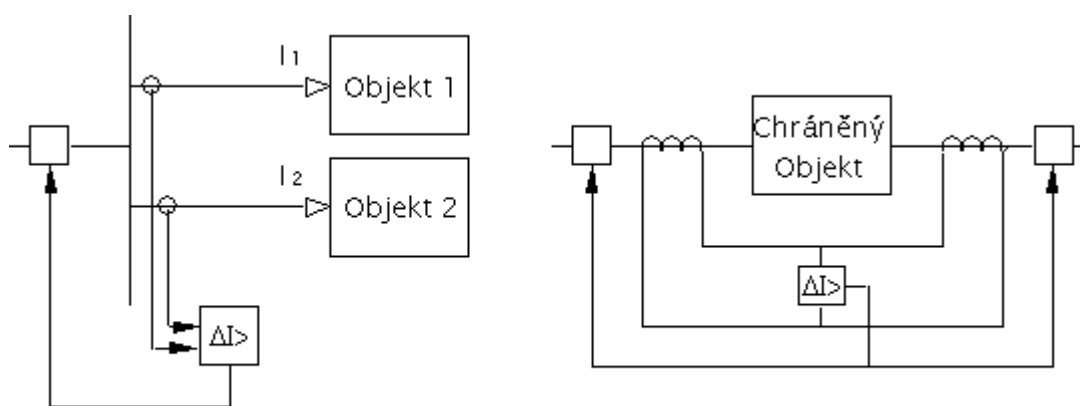
### Příčná rozdílová ochrana

Tato ochrana srovnává vstupy dvou stejných objektů, kterými mohou být paralelní větve statorového vinutí nebo paralelní vedení. Po zapůsobení ochrany budou vypnuty oba objekty, což se stává nevýhodou.

### Podélná rozdílová ochrana

Chráněným úsekem je úsek, jenž je vymezen jisticími transformátory proudu. Rozlišujeme tři základní typy podélných rozdílových ochrann: máloimpedanční ochrana, rozdílová ochrana pro dlouhé objekty a ochrana s napěťovým srovnáním.

Proudové porovnání může být s jedním nebo dvěma měřicími členy. Pro dlouhé objekty jsou použity dva měřicí členy a nebo porovnání napěťové.



Obr.7 – Blokové schéma příčné a podélné rozdílové ochrany

### Fázové srovnávací ochrany

Vyhodnocují rozdíl fází proudu na začátku a konci chráněného objektu. Reagují při určitém rozdílu  $\alpha$ . Tyto ochrany nacházejí uplatnění na krátkých vedeních, kde by nebylo možné použití distančních ochrann vlivem jejich nedostatečné citlivosti. Pro dlouhé vedení je tento typ ochrany nevhodný z hlediska kapacitních proudů, které by mohly způsobit zbytečné zapůsobení ochrany.

## 1.4.4 AUTOMATIKY OPĚTNÉHO ZAPNUTÍ

Automatika opětného zapnutí po vypnutí zkratu ochranou znovu zapíná po krátké pauze venkovní vedení. Automatika pracuje v jednoduchých nebo ve vícenásobných cyklech. Jedná-li se o jednoduchý cyklus, poté automatika provede pouze zapnutí a v případě trvání poruchy automatika definitivně vypíná. Vypínání jedné fáze se používá pouze u vedení vvn a zvn kvůli zajištění dynamické stability sítě. Vypínače vn toto neumožňují. Pro vedení vvn se tedy používá třípólové OZ.



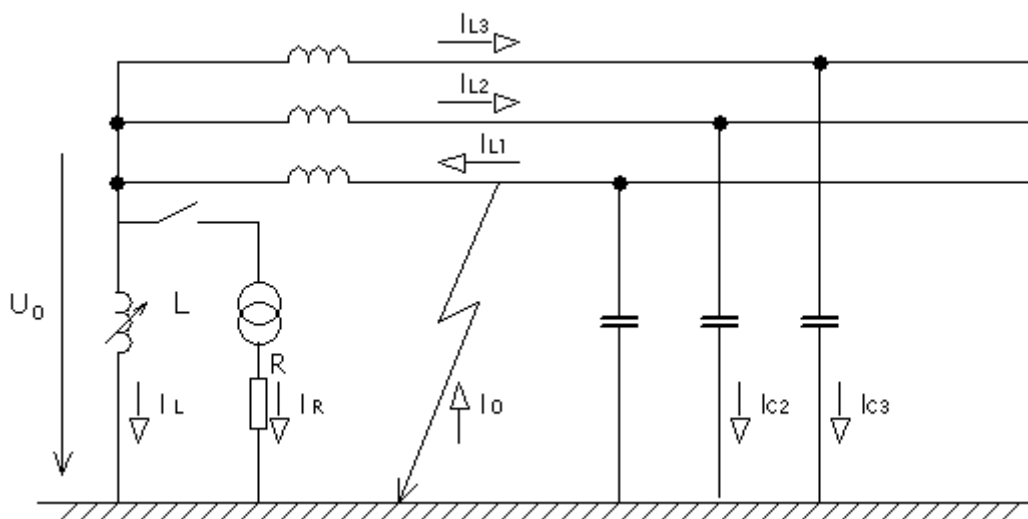
Hlavní význam automatiky opětného zapnutí spočívá ve zkrácení doby výpadku dodávky energie a v možném zabránění ztráty stability soustavy včasným opětným zapnutím přenosové linky.

Princip automatik opětného zapnutí je založen na přerušení možného oblouku vzniklého na vedení. Je nutné zabezpečit, aby deionizační dráha oblouku zanikla v době, kdy je vedení ještě bez napětí. Beznapěťový časový interval není pevně stanoven. U vn se doporučuje a používá 0,8 s až 1 s, u vvn v síti s generátory 0,3 s a 0,6 s, bez generátorů se může prodloužit. U 220 kV a 400 kV používá ČEPS časy 1 s až 1,2 s.

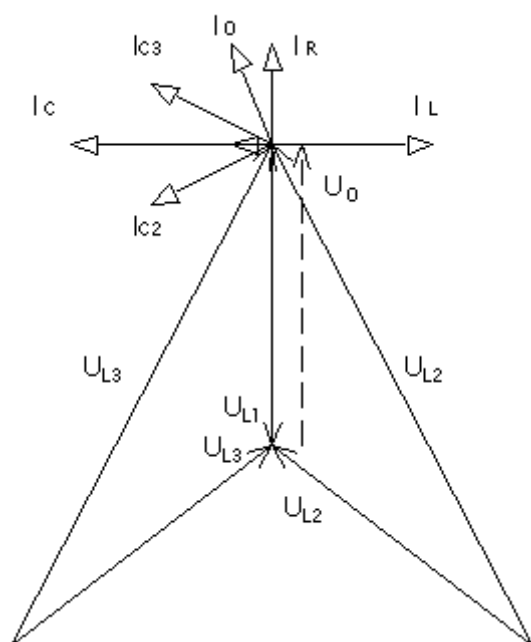
### 1.4.5 OCHRANY PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ

Většina sítí vn se provozuje s kompenzační tlumivkou a přepínatelným paralelním odporníkem. Jedná-li se o nekompenzovanou síť (síť je spojena se zemí přes kapacity jednotlivých fází vůči zemi), tak pro detekci zemního spojení se používá jalové relé, které měří součin  $U_0 I_0 \sin \varphi_0$  – nulová složka proudu je fázově posunuta oproti nulové složce napětí o  $90^\circ$ .

Pokud se jedná o kompenzovanou síť, potom je síť uzemněna přes tlumivku s proměnnou impedancí kompenzující kapacitu mezi fází a zemí celého systému. Pro detekci zemního spojení v kompenzované síti se nejčastěji používá wattové relé měřící součin  $U_0 I_0 \cos \varphi_0$  (vyhodnocení činné složky). V případě zemního spojení je kapacitní proud kompenzován tlumivkou a výsledný proud je tedy velmi malý. Z tohoto důvodu se k tlumivce paralelně připojuje odporník, který vyvolá po krátkou dobu činný proud. Tato činná složka proudu zajistí lepší poměry pro měření. Tento proud teče jen postiženým vedením a natáčí fázor  $I_0$  směrem k fázoru napětí  $U_0$ . Toto je vyhodnocováno wattovým relé.

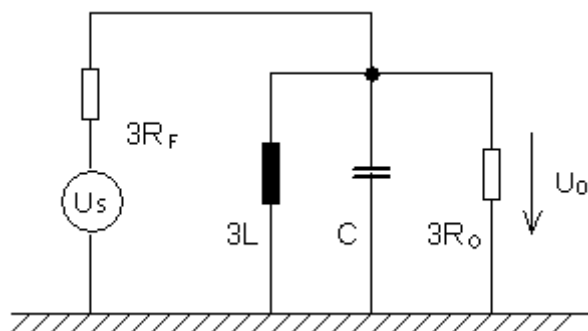


Obr.8 – Zjednodušené schéma vedení se zemní poruchou



Obr.9 – Fázorový diagram napětí a proudů při zemním spojení

Pro schéma se zemní poruchou je možno vytvořit náhradní schéma s Theveninovým zdrojem, jehož vnitřní odpor představuje odpor poruchy  $3R_F$  a zátěž je dána paralelní kombinací kapacity sítě  $C$ , indukčnosti  $3L$  kompenzační tlumivky a činným odporem  $3R_0$  paralelního odporníku. Sousedná a nulová složka impedance vedení je zanedbána vzhledem k odporu odporníku a možnému odporu poruchy. Nesymetrie se také nebere v úvahu pro zjednodušení.

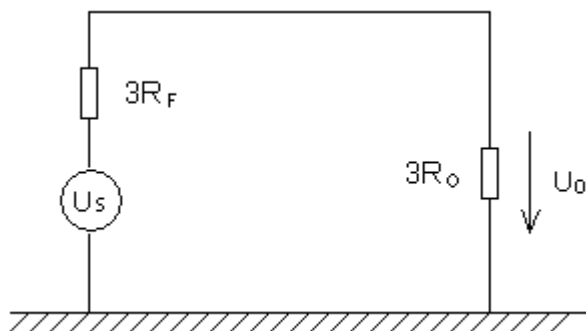


Obr.10 – Náhradní Theveninovo zapojení pro zemní poruchu

Zbytkové napětí při zemním spojení:

$$U_0 = U_s \frac{Z}{3R_F + Z} \Rightarrow U_0 = \frac{U_s}{1 + \frac{R_F}{R_0} + j3R_F(\omega C - \frac{1}{3\omega L})}$$

V případě, že síť je plně vykompenzovaná, lze toto schéma nahradit napěťovým děličem.



Obr.11 – Náhradní zapojení pro zemní poruchu při plné kompenzaci sítě

Zbytkové napětí  $U_0$  je potom dáno vztahem:

$$U_0 = U_s \frac{3R_0}{3R_F + 3R_0}$$

Pro zbytkový proud  $I_0$  potom platí:

$$I_0 = \frac{\sqrt{3}U_s}{3R_F + 3R_0} = \frac{U_s}{\sqrt{3}(R_F + R_0)}$$

Další metodou pro detekci zemního spojení v kompenzované síti je konduktanční metoda. U této metody se používá měření nulové složky konduktance vedení. Další metodou je přírůstková metoda, kdy se měří přírůstek proudu po připojení odporníku k tlumivce.

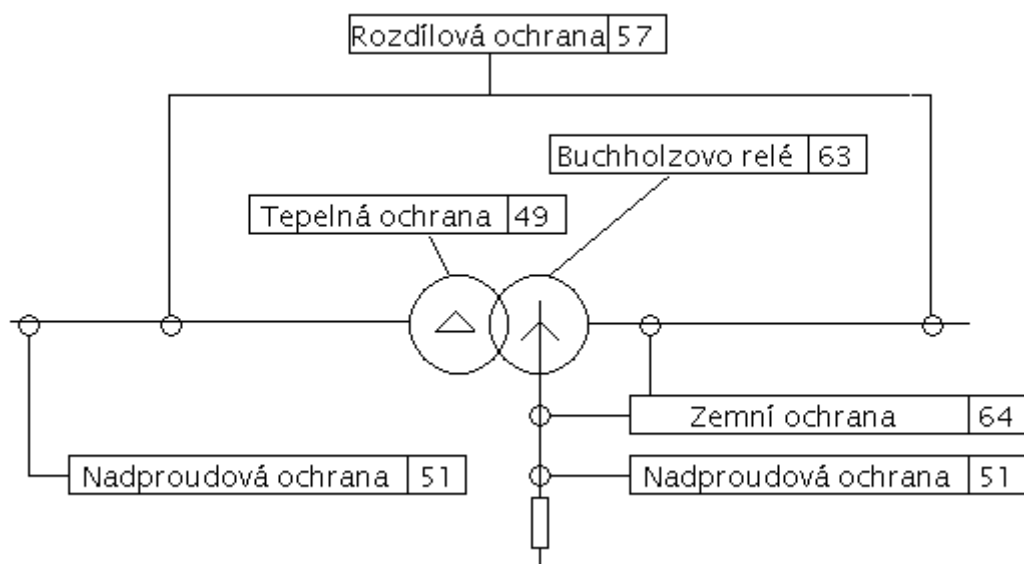
#### 1.4.6 OCHRANY PŘÍPOJNIC

Pro přípojnice je nutnost perfektního chránění, neboť přenášejí velké výkony a porucha by měla za následek přerušování dodávky el. energie velkému množství odběratelů. Na ochrany přípojnic jsou tedy kladeny velké nároky, aby poskytovaly rychlé vypnutí, dostatečně velkou selektivitu k okolí přípojnic a mezi částmi přípojnic příčného a podélného dělení.

Pro chránění přípojníc vn se používá tzv. logická ochrana rozvodny LOR. Při zkratu na vedení je náběhem ochrany vedení blokován rychlý stupeň zkratové ochrany transformátoru a transformátor nevypne. Při zkratu na přípojnici nenaběhne žádná ochrana vedení a přípojnice je vypnuta rychlým stupněm zkratové ochrany transformátoru. Pro chránění přípojníc vvn se používá ochrana rozdílová, na kterou jsou z hlediska spolehlivosti kladeny vysoké požadavky.

## 1.5 OCHRANY TRANSFORMÁTORŮ [1,2,10,11]

Transformátory je nutné chránit z hlediska vnějších a vnitřních poruch. Vnější poruchy znamenají přetížení nebo zkrat. Pro tyto poruchy se používá proudová ochrana na přetížení, nezávislá nadproudová ochrana nebo distanční ochrana. Pro vnitřní poruchy jako zkraty ve vinutí a zkraty vinutí na nádobu jsou použity ochrany rozdílová, plynové relé a nádobová ochrana. Pro pozvolna vznikající poruchy uvnitř transformátoru a pro poruchy chlazení se používá plynové relé.



Obr.12 – Blokové schéma chránění transformátoru

### 1.5.1 ROZDÍLOVÁ OCHRANA TRANSFORMÁTORU

Tato ochrana vyhodnocuje rozdíl proudů na primární a sekundární straně transformátoru a při rozdílové hodnotě větší než určitá nastavená ochrana zapůsobí a odpojí transformátor na primární i sekundární straně. Rozdílový měřicí člen musí mít optimálně nastavenou citlivost. U elektromechanických ochrany bylo nutné sladit převody jisticích transformátorů proudu a také vyrovnat fázové natočení proudů. Spojení sekundárních vinutí transformátorů proudu musí být zrcadlovým obrazem spojení vinutí silového transformátoru. Digitální ochrany se sladují softwarově. Charakteristiky měřicích transformátorů proudu by měly být totožné. V opačném případě by mohlo dojít k nesprávnému zapůsobení rozdílové ochrany.

Dále je nutné zabezpečit blokování při zapínacím rázu kvůli možného chybného zapůsobení ochrany. Zapínací ráz je způsobený magnetizačním proudem transformátoru při zapnutí ve stavu naprázdno. Remanence, syčení jádra transformátoru a okamžik zapnutí určuje velikost nárazového proudu. Magnetizační proud obvykle činí  $0,01I_n - 0,05I_n$ . Zapínací ráz činí 0,5-ti až 10-ti násobek jmenovitého proudu.

Blokování při zapínacím rázu je provedeno buď časovým zpožděním nebo filtrem na druhou harmonickou proudu. Časové zpoždění se volí dle časové konstanty tlumení rázového magnetizačního proudu. Nejčastěji se používají filtry na druhou harmonickou proudu, kterou obsahuje magnetizační zapínací proud. Při výskytu druhé harmonické je ochrana zablokována.

### **1.5.2 PROUDOVÁ ZKRATOVÁ OCHRANA**

Proudovou zkratovou ochranou bývá trojfázová nadproudová ochrana, u které může být aplikován časový článek dle požadavků na selektivitu. Při použití časového článku může být ochrana dvoustupňová, kde první stupeň informuje o přetížení a druhý stupeň po uplynutí nastavené doby zapůsobí. Někdy se tato ochrana doplňuje podpětovým blokováním pro zvýšení selektivity zejména u transformátorů nn/vn.

### **1.5.3 PLYNOVÉ RELÉ**

Plynové relé (také Buchholzovo relé) nachází uplatnění u transformátorů s olejovým chlazením. Umístěné je mezi víkem transformátoru a konzervátorem. Z důvodu tepla oblouku nebo ohřátím vodičů nad přípustnou mez dochází k rozkladu oleje a k uvolňování plynů (vodík, metan, CO, CO<sub>2</sub>, dusík, atd.). Na tento vývin plynů v oleji reaguje plynové relé. Většinou se používá dvoustupňové chránění. První stupeň působení spíná signalizaci. V tomto stupni dochází k pomalému vývinu plynů nebo k menšímu úniku oleje. Druhý stupeň vypíná transformátor kvůli rychlému vývinu plynů nebo proudění oleje.

### **1.5.4 NÁDOBOVÁ OCHRANA**

Nádobová ochrana chrání transformátor v situacích při přeskoku na kostru. Při přeskoku na nádobu prochází proud průvlekovým transformátorem do země a nadproudová ochrana, která je připojena na sekundární vinutí transformátoru zapůsobí. Při přeskoku na kostru nadproudová ochrana vypíná transformátor. Všechny kabely pomocných obvodů musí procházet přes průvlekový transformátor. Podmínkou funkce chránění je izolace transformátoru od země s dostatečným izolačním odporem od země, aby nedocházelo k chybnému působení ochrany.

### **1.5.5 OCHRANA PŘI PŘESYCENÍ PRIMÁRNÍHO NAPĚTÍ**

Tato ochrana se uplatňuje v případech vypnutí zatíženého nebo přebuzeného alternátoru, kdy dochází ke zvýšení otáček kvůli momentu turbíny a k následnému zvýšení napětí vybuzením.

Posléze může dojít k nebezpečnému zvýšení proudu transformátorem. Tato ochrana působí v těchto případech jako záložní pro odpojení transformátoru, nedochází-li k okamžitému odbuzení nebo vypnutí generátoru.

### **1.5.6 TEPELNÁ OCHRANA**

Tepelná ochrana bývá realizována teploměrem, termokopií nebo nepřímou metodou proudu. Teploměr je umístěn uvnitř nádoby a nastaven na dva stupně, přičemž první stupeň signalizuje zvýšenou teplotu a stupeň druhý vypíná transformátor. Při aplikaci termokopie je použita sonda umístěna pod víkem transformátoru, která je vyhřívána proudem z měřicího transformátoru proudu. Nepřímá metoda proudu určuje oteplení ve vinutí pomocí vyhodnocení proudu v čase.

### **1.5.7 DISTANČNÍ OCHRANA PRO TRANSFORMÁTOR**

Distanční ochrana chrání transformátor od zkratů na přípojnících rozvodny a vedení vvn. První stupeň je mžikový pro chránění odbočky a části transformátoru. Další stupeň zajišťuje vypnutí při poruše za transformátorem na straně vyššího napětí. Jestliže je transformátor zapojen Y/D, je nutné použít tři ochrany, tzn. pro každou fázi musí být použit vlastní měřicí článek z důvodu uzavírání nulové složky proudu, která také přenáší vzrůst proudu na nepostižené primární fáze. V případě zapojení transformátoru Yy je situace jednodušší, neboť proudy vzrůstají při zkratu pouze v postižených fázích.

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTU ZKRATOVÝCH PROUDŮ [8,15,16]

Zkratem se rozumí náhodné nebo úmyslné spojení dvou bodů různého potenciálu přes zanedbatelný činný odpor nebo impedanci. Takto vzniká nežádoucí zkratový proud, jehož příčina může být např. blesk, porucha izolace, selhání zařízení vlivem stárí, poškození vedení nebo kabelů. Při zkratu dochází k poklesu napětí a nadměrnému vzrůstu proudu, který může být provázený obloukem, jehož odpor se v průběhu zkratu mění.

Kompletním vyřešením analýzy zkratového proudu by byla analýza jeho průběhu v čase. Ovšem toto by bylo příliš zdouhavé a většinou v praxi je postačující výpočet efektivní hodnoty souměrné střídavé složky zkratového proudu a velikost nárazového zkratového proudu po vzniku zkratu.

Pro výpočet maximálních a minimálních hodnot zkratových proudů se předpokládá, že nedochází ke změně typu zkratového proudu v průběhu zkratu a ani k žádné změně v síti. Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze a odpory oblouků se neuvažují. Všechny kapacity vedení, paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány kromě paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Druhy poruch:

- Trojfázový zkrat
- Trojfázový zemní zkrat
- Dvoufázový zkrat
- Dvoufázový zemní zkrat
- Jednofázový zkrat
- Zemní spojení
- Proudová nesymetrie (přerušení vodiče)
- Napěťová nesymetrie
- Podpětí a nadpětí

### 2.1 NÁZVOSLOVÍ ZKRATOVÝCH VELIČIN

- Zkratový proud - proud při zkratu způsobený důsledkem poruchy nebo nesprávného zapojení
- Předpokládaný zkratový proud - proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení
- Souměrný zkratový proud - efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbatelnou eventuální aperiodickou složkou proudu
- Počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_k''$  - efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, zůstane-li hodnota impedance stejná jako v okamžiku zkratu
- Stejnosečná složka zkratového proudu  $I_a$  - střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule

- Nárazový zkratový proud  $i_p$  - největší možná vrcholová hodnota zkratového proudu
- Souměrný zkratový vypínací proud  $I_b$  - efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení
- Ekvivalentní oteplovací proud  $I_{th}$  - efektivní hodnota fiktivního proudu se stejnými tepelnými účinky a stejnou dobou trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem je nestálý
- Ustálený zkratový proud  $I_k$  - efektivní hodnota souměrného zkratového proudu, který protéká obvodem po zakončení přechodných jevů
- Záběrový proud  $I_{LR}$  - největší souměrný efektivní proud asynchronního motoru se zabrzděným rotorem, který je napájen jmenovitým napětím při jmenovitém kmitočtu
- Trojfázový zkratový výkon  $S_k''$  - fiktivní hodnota vyjádřená součinem počátečního rázového zkratového proudu  $I_k''$ , jmenovitého napětí sítě  $U_n$  a součinitele  $\sqrt{3}$
- Elektricky blízký zkrat - zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k počátečnímu rázovému zkratovému proudu při trojfázovém zkratu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5 % počátečního souměrného rázového zkratového proudu bez motorů
- Elektricky vzdálený zkrat - zkrat, při kterém nejsou splněny podmínky předcházejícího článku
- Doba trvání zkratu  $t_k$  - doba od okamžiku vzniku zkratu až do jeho konečného vypnutí ve všech fázích postižených zkratem

## 2.2 POSTUP VÝPOČTU

- Nakreslení náhradního schématu obvodu, uvedení parametrů vztažených k jejich jmenovitému výkonu a napětí, převody transformátorů a poté postupné zjednodušení daného schéma
- Odvození schémat sousledné složky a pokud je to nutné, tak i zpětné a netočivé složky (pro nesouměrné zkraty)
- Postup při sestavování schémat je od místa zkratu směrem ke zdroji zkratového proudu
- Výpočet impedance každého prvku schématu a následný přepočet na napětíovou hladinu u zkratu při výpočtu ve fyzikálních jednotkách
- Při výpočtu v poměrných jednotkách se provádí přepočet na zvolený vztažný výkon a vztažné napětí v místě zkratu
- Je nutné určit pro každé místo zkratu impedanci zkratového obvodu  $Z_{k1}$ ,  $Z_{k2}$ ,  $Z_{k0}$
- Při výpočtu elektricky vzdáleného zkratu se předpokládá v místě zkratu fiktivní ideální zdroj napětí s hodnotou napětí, které je v místě zkratu
- Při výpočtu elektricky blízkého zkratu se uvažují v sousledné složkové soustavě vnitřní napětí jednotlivých zdrojů a určí se výsledné napětí pro dané místo poruchy
- Výpočet počátečního rázového zkratového proudu v místě zkratu
- Určení dílčích proudů tekoucích jednotlivými větvemi obvodu v případě nutnosti a vyhodnocení zkratových příspěvků synchronních strojů a asynchronních motorů
- Stanovení parametrů určující zkratové proudy



## 2.3 VÝPOČET PARAMETRŮ PRVKŮ SOUSTAVY

- Při výpočtu používáme skutečné parametry zařízení zjištěné z měření
- V případě, když nejsou tyto hodnoty známy, použijí se pro výpočet jmenovité, střední nebo orientační hodnoty zařízení
- Pro transformátory se počítá s jmenovitými převody, skutečný převod transformátorů se uvažuje ve zvláštních případech, v orientačních výpočtech je možno použít fiktivní převody transformátoru (pokud je transformátor připojen na svorky alternátoru, který nenapájí přímo spotřebiče, tak se fiktivní převod odvozuje ze jmenovitého napětí alternátoru)

### Napětí zdrojů

Pro výpočet se používá fázové napětí zdrojů. Vnitřní napětí zdrojů nebo napětí fiktivního ekvivalentního zdroje v místě zkratu se určuje dle napěťového součinitele  $c$ .

Napětí fiktivního ekvivalentního zdroje:

$$U_v = \frac{cU_n}{\sqrt{3}}$$

### Výpočet impedance elektrického zařízení

Obvykle se neuvažuje rozdíl mezi zpětnou a souslednou impedancí. Je možno zanedbat impedance sousledné a zpětné složkové soustavy připojené mezi fáze a zem kondenzátorů, reaktorů, magnetizační větve transformátorů, nemotorické zátěže paralelně řazené ke zkratové cestě.

### Soustava

Náhradní impedance soustavy se určuje z počátečního rázového zkratového proudu při trojfázovém a jednofázovém zkratu.

Sousledná impedance soustavy:

$$Z_{(1)} = \frac{U_v}{I_{k3}''} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}I_{k3}''} = \frac{cU_n^2}{S_{k3}''}$$

Zpětná impedance soustavy:

$$Z_{(2)} = Z_{(1)}$$

Netočivá impedance soustavy:

$$Z_{(0)} = U_v \left( \frac{3}{I_{k1}''} - \frac{2}{I_{k3}''} \right) = cU_n^2 \left( \frac{3}{S_{k1}''} - \frac{2}{S_{k3}''} \right)$$

Alternátor

Obvykle se používá při výpočtu zkratů sycená rázová reaktance  $X_d''$ .

Činný odpor fáze statoru činí:

$$R = 0,15 X_d'' \text{ pro nn stroje}$$

$$R = 0,07 X_d'' \text{ pro stroje do 100 MVA}$$

Rázová reaktance alternátoru:

$$X_d'' = \frac{x_d''}{100} \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}}$$

Dvouvinutový transformátor

Zpětná impedance transformátoru je rovna impedanci sousledné.

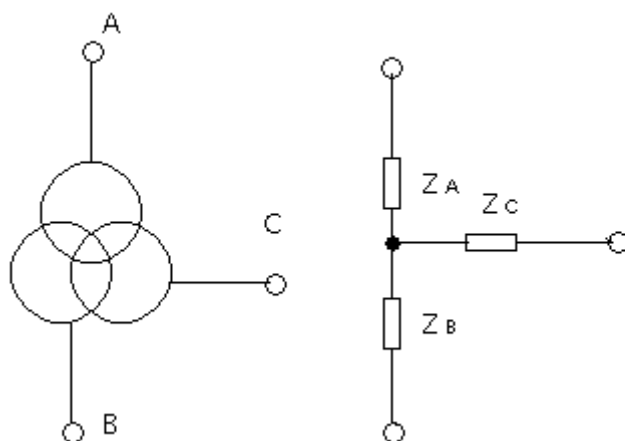
Sousledná impedance činí:

$$Z_{(1)} = \frac{u_k}{100} \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}}$$

Činný odpor a reaktance transformátoru:

$$R_{(1)} = \frac{P_{knT}}{3I_{nT}^2} = \frac{P_{knT} U_{nT}^2}{S_{nT}^2}; \quad X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2}$$

Při výpočtu počátečního rázového zkratového proudu se obvykle uvažuje  $X_{(1)} = R_{(1)}$  a činný odpor se zanedbává. Činný odpor transformátoru se doporučuje uvažovat u transformátorů vn/nn. Netočivá impedance se uvažuje pouze u transformátorů trojčlenných.

Trojvinutový transformátor

Obr.13 – Náhradní schéma trojvinutového transformátoru

Zkratové impedance transformátoru při rozpojení vždy jedné strany vztažené na stranu A:

$$\overline{Z_{AB}} = \left( \frac{u_{RrAB}}{100} + j \frac{u_{XrAB}}{100} \right) \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}}, \quad \overline{Z_{AC}} = \left( \frac{u_{RrAC}}{100} + j \frac{u_{XrAC}}{100} \right) \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}}, \quad \overline{Z_{BC}} = \left( \frac{u_{RrBC}}{100} + j \frac{u_{XrBC}}{100} \right) \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}}$$

Napětí nakrátko transformátoru:

$$u_{Kr} = \sqrt{u_{Xr}^2 + u_{Rr}^2}$$

Sousledné zkratové impedance transformátoru:

$$\overline{Z_A} = \frac{1}{2}(Z_{AB} + Z_{AC} - Z_{BC}), \quad \overline{Z_B} = \frac{1}{2}(Z_{BC} + Z_{AB} - Z_{AC}), \quad \overline{Z_C} = \frac{1}{2}(Z_{AC} + Z_{BC} - Z_{AB})$$

### Reaktor

Sousledná a příčná reaktance tlumivky pro omezení zkratového proudu se určuje ze vztahu:

$$Z = \frac{10u_k U_n}{\sqrt{3}I_n}$$

Činný odpor a reaktance se vypočítají obdobně jako u dvouvinutového transformátoru. Pokud jsou vinutí geometricky souměrná, potom je netočivá impedance rovna sousledné impedanci.

### Motory

U synchronních motorů a kompenzátorů je určení parametrů totožné jako u synchronních alternátorů.

Impedance asynchronního motoru:

$$Z_M = \frac{1}{i_z} \frac{U_{nM}^2}{S_{nM}} = \frac{1}{i_z} \frac{U_{nM}}{\sqrt{3}I_{nM}}$$

Motory, které jsou připojené radiálně do jednoho uzlu sítě lze nahradit jedním motorem, jehož impedance je potom dána paralelním řazením jednotlivých impedancí.

Další alternativou výpočtu impedance v tomto případě je výpočet s použitím střední hodnoty záběrového proudu  $i_z$  a součtu jmenovitých proudů motoru.

### Vedení

Činný odpor a reaktance vedení:  $R_{(1)} = R_k l, \quad X_{(1)} = X_k l$

Pro venkovní vedení jsou impedance sousledné a zpětné složky totožné. Pro kabely platí rovněž rovnost impedancí zpětné a sousledné složky. Impedance netočivé složky závisí na provedení kabelu, způsobu uzemnění a vlivu okolí.

## 2.4 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ

### Výpočet počátečního souměrného rázového zkratového proudu $I_k''$

Výpočet trojfázového zkratového proudu je dán podílem napětí ekvivalentního zdroje v místě zkratu a zkratové reaktance. Při výpočtu dvoufázového zkratu se uvažuje rovnost sousledné a zpětné složky zkratové reaktance. Tyto složky se mohou lišit při blízkém zkratu. Při výpočtu jednofázového zkratu se při vzdáleném zkratu uvažuje rovnost sousledné a zpětné složky zkratové impedance. Pokud je nulová složka impedance menší než složka sousledná, potom je jednofázový zkratový proud větší než třífázový.

Výpočet trojfázového zkratu:

$$I_{k3}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_{(1)}}$$

Výpočet dvoufázového zkratu:

$$I_{k2}'' = \frac{cU_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)}} = \frac{cU_n}{2Z_{(1)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3}''$$

Výpočet jednofázového zkratu:

$$I_{k1}'' = \frac{c\sqrt{3}U_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}}$$

### Výpočet nárazového zkratového proudu $i_p$

Tato nejvyšší hodnota průběhu zkratového proudu závisí na časové konstantě zanikající aperiodické složky a kmitočtu. Časová konstanta zkratového obvodu  $T_K$  je dána poměrem zkratové indukčnosti a činného odporu daného obvodu, což je rozhodující pro velikost nárazového součinitele  $K$ .

Nárazový zkratový proud:

$$i_p = \sqrt{2}KI_k''$$

### Výpočet ustáleného zkratového proudu $I_k$

Pro dimenzování el. zařízení se pro zkraty počítané jako elektricky vzdálené uvažuje rovnost:  $I_k = i_p$

Nárazový zkratový proud  $i_p$  se uvažuje bez vlivu asynchronních motorů.

Při zkratech elektricky blízkých se respektuje vliv nárazového buzení alternátoru.

Ustálený zkratový proud při nárazovém buzení je dán:

$$I_k = \frac{u_{b \max}}{x_d + x_k} I_n$$

Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu  $I_{th}$

Pro určení vztahu ekvivalentního oteplovacího proudu se vychází z integrálu kvadrátu průběhu el. proudu dle vztahu:

$$\int_0^{T_k} i^2 dt = I_k'^2 (m + n) T_k = I_{th}^2 T_k$$

Ekvivalentní oteplovací proud s použitím součinitelů pro časově závislý tepelný účinek střídavé i SS složky potom je roven:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n}$$

Pokud by nastala situace více po sobě následujících trojfázových zkratových proudů, je nutno použít následující níže uvedené vztahy.

Pro sérii i zkratových proudů je Jouleův integrál roven:

$$\int i^2 dt = \sum_{i=1}^{i=r} I_{ki}'^2 (m_i + n_i) T_{ki} = I_{th}^2 T_k$$

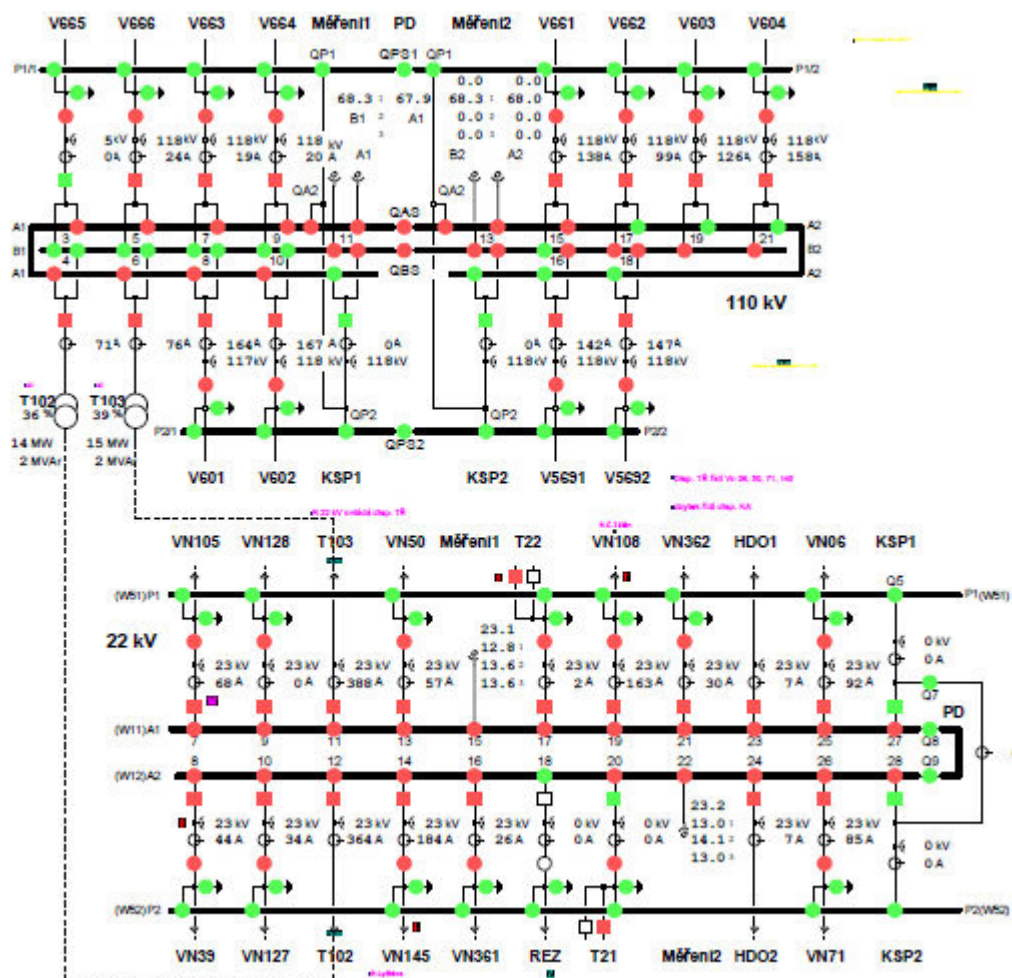
Potom ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{\int i^2 dt}{T_k}}; T_k = \sum_{i=1}^{i=r} T_{ki}$$

### 3 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU NA ROZVODNĚ ROPICI 110/22 KV [6]

V rámci stavby budou na rozvodně Ropici prováděny úpravy transformátorů 110/22 kV, rozvodny 110 kV, rozvodny 22 kV, kompenzace uzlu 22 kV, ochran a řídicího systému, měření, vlastní spotřeby, stavební části rozvodny 110 kV, staveníště transformátoru a tlumivky, budovy společných provozů, akumulátorovny, uzemnění a venkovního osvětlení.

#### 3.1 SCHÉMA ROZVODNY ROPICE 110/22 KV



Obr.14 – Schéma rozvodny Ropice 110/22 kV

#### 3.2 TRANSFORMÁTORY 110/22KV

V provozu jsou dva transformátory 110/22 kV. Transformátory T 102 a T 103 jsou umístěny na nekrytých stanovištích se společnou záchytnou olejovou jímkou.

Transformátor T 102 je napojen do pole č.4 rozvodny 110 kV (vn strana je napojena do pole č.12 rozvodny 22 kV).

Transformátor T 103 je napojen do pole č.6 rozvodny 110 kV (vn strana je napojena do pole č.11 rozvodny 22 kV).

#### Parametry transformátorů

T 102: typ 8 ERH33M-8, 110/22/6,3 kV, 40/40/12,5 MVA

T 103: typ 5 ER33M, 110/22/6,3 kV, 40/40/12,5 MVA

Uzel transformátoru vvn je uzemněn přímo. Uzel vn je nepřímou uzemněn přes zhášecí tlumivku, ke které se paralelně, v případě vzniku zemního spojení, připojuje krátkodobě sekundární odporník. Zhášecí tlumivka je laděna automatikou ladění a spínání odporníku je prováděno rovněž touto automatikou.

Od stanovišť transformátorů jsou vedeny kabely 22 kV do budovy rozvodny 22 kV ve výkopu přes rozvodnu 110 kV. Dále jsou vedeny pod zpevněnou panelovou plochou k budově společných provozů a ve zdvojené podlaze do kobek č.11 a 12 rozvodny 22 kV.

### **3.3 ROZVODNA 110 KV**

Tato rozvodna je provedena jako venkovní dvouřadá rozvodna s dvěma systémy hlavních přípojníc W11, W12, W21, W22 s podélným dělením a s pomocnou přípojnící. Rozvodna 110 kV obsahuje celkem 20 polí (2 vývody na transformátory 110/22 kV, 12 vývodových polí 110 kV, 2 pole měření, 2 pole KSP, 2 pole nevybavená rezerva). Zkratová odolnost rozvodny činí 25 kA. Přístroje rozvodny mají zkratovou odolnost 40 kA. Přístroje rozvodny jsou umístěny na zvýšené ocelové konstrukci, kde je zajištěna ochrana polohou. Přístroje jsou s elektrickým ovládním.

Nevybavenou rezervou je v současné době pole 20 a 22. V těchto polích jsou vybudovány hlavní ocelové konstrukce a nataženy přípojnice W12, W22, W54. Přípojnice jsou provedeny AlFe lany 1x750/43. Zde nejsou osazeny žádné přístroje ani základy pro pomocné ocelové konstrukce. V poli 20 a 22 jsou vybudovány pouze základy a instalována pomocná ocelová konstrukce pro přípojnicové odpojovače na přípojnici W22. Šířka rezervních polí 20, 22 rozvodny 110 kV činí 9 m.

#### Parametry distribuční sítě 110 kV

Jmenovité napětí: 110 kV

Nejvyšší napětí: 123 kV

Jmenovitá frekvence: 50 Hz

Počet fází: 3

Typ sítě: TT

### 3.4 ROZVODNA 22 KV

Jedná se o skříňovou rozvodnu typu IRODEL RKM 644. Přípojnice mají zkratovou odolnost 20 kA, 762 MVA. Jmenovitý proud přípojníc činí 2 kA. Provedení rozvodny je s jedním systémem hlavních přípojníc, které jsou podélně dělené a s pomocnou přípojnící. Rozvodna obsahuje celkem 22 polí (2x vývod na transformátory T102, T103, 11x vývod vn, 2x vývod na transformátor vlastní spotřeby, 2x vývod HDO, 2xKSP, 2x měření napětí a vývod s rezervou). Tato rozvodna je umístěna v prvním a druhém nadzemním podlaží budovy společných provozů Ropice. V prvním podlaží jsou kobky 22 kV, kde je pomocná přípojnice, vývodový odpojovač s uzemňovačem, odpojovač na pomocnou přípojnici a napojení kabelových vývodů. Ochrany jsou umístěny v samostatných panelech v místnosti pomocných rozvaděčů. Ovládací skříně jsou umístěny naproti skříním 22 kV v druhém patře.

#### Parametry distribuční sítě 22 kV

Jmenovité napětí: 23 kV

Nejvyšší napětí: 25 kV

Jmenovitá frekvence: 50 Hz

Počet fází: 3

Typ sítě: IT

### 3.5 OCHRANY A AUTOMATIKY

Vedení z rozvodny Ropice jsou chráněna níže uvedenými typy ochran.

Jedná se o stávající stav chránění.

Vedení	Nadproudová	Zkratová	Zemní	OZ
VN06	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN39	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN50	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN71	AT31X	A32 (12,5)	RYo	OZ33
VN105	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN108	7SJ611	7SJ611	RYo	7SJ611
VN127	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN128	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN145	AT31X	A32 (15)	RYo	OZ33
VN361	7SJ611	7SJ611	RYo	7SJ611
VN362	7SJ611	7SJ611	RYo	7SJ611

Tab.1 – Ochrany stávajícího stavu rozvodny

V rozvodně 110 kV jsou pro všechny vývody a KSP použity distanční ochrany ABB REL 511. V KSP1 a KSP2 jsou navíc pro provoz jako spojka sběrů nasazeny nadproudové nesměrové ochrany Siemens 7SJ600. Tyto ochrany nebudou předmětem rekonstrukce.



Chránění transformátorů je zajištěno rozdílovou ochranou TR – 7UT 512, nadproudovou ochranou SPAJ 140C, napět'ovou ochranou PU 321 a regulátorem napětí SPAU 341C. Tyto ochrany jsou umístěny v samostatných skříních pro každý transformátor. Tlumivky jsou vybaveny automatikou ARL 3.1.

### **3.6 OSTATNÍ PRVKY A SYSTÉM ROZVODNY**

#### Kompenzace uzlu 22 kV

V nynější době jsou v rozvodně Ropici instalovány dvě kompenzační tlumivky, které jsou připínány k transformátorům T102 a T103 pomocí sady čtyř venkovních odpojovačů.

Parametry tlumivek jsou následující:

ASR 5.0, 5000 kVAr, 376 A/2h, ovl. napětí 220 V DC

#### Řídicí systém

Řídicí systém je použit v centrálním provedení, jenž obsahuje měřicí, reléové a signální skříně. Jedná se o Mikrodispečink z roku 1998. Ovládání rozvodu, odpojovačů tlumivek včetně regulace transformátorů a tlumivek je prováděno z reléové skříně prostřednictvím povelových a objektových relé. Signalizace je přivedena z rozvodny 110 kV a také z ochran. Signální napětí je 60 V DC. Signalizace je přivedena do van MCS. Měření je vyřešeno přímými vstupy na karty ACUI – 100 V, 1 A (5A), které jsou umístěny ve vanách MCS. Všechny vany jsou opticky smyčkově připojeny do komunikačního počítače.

#### 4 NÁVRH A POPIS OCHRAN PRO ROZVODNU R22 KV ROPICE [3,14]

Všechny vedení z rozvodny R22 kV Ropice budou osazeny multifunkčními ochranami s řízením SIPROTEC 7SJ63 v rámci celkové rekonstrukce této rozvodny. Multifunkční ochrany budou umístěny v přístrojových skříňkách jednotlivých polí. Transformátory T102 a T103 v rozvodně budou osazeny rozdílovou ochranou 7UT613, nadproudovou ochranou 7SJ 623 a regulátorem napětí REG-D.

Ochrany transformátoru společně s regulátorem napětí budou umístěny v místnosti pomocných rozvaděčů v hlavní budově vedle stávajícího rozvaděče ochran T102, T103.

Osadí se rovněž další automatika ladění a spínání sekundárního odporníku REG-DP.

Multifunkční ochrany budou propojeny dvojitým optickým kruhem, regulátory hvězdnicově metalickým kabelem. Vše vždy do switche a odtud do podružného koncentrátoru SICAM-PAS.

##### POPIS OCHRANY SIPROTEC 7SJ63

Tato digitální multifunkční ochrana je vybavena výkonným mikroprocesorem, čímž jsou digitálně zpracovávány všechny úkoly od detekce přes vzorkování a digitalizaci měřených veličin až po vydání povelu pro výkonový vypínač. Ochrana je vybavena nadproudovou, zemní zkratovou, směrovou nadproudovou ochranou, dynamickým přepínáním parametrů, jednofázovou nadproudovou ochranou, napětíovou ochranou, ochranou proti nesymetrii, kontrolou času rozběhu pro motory, blokováním opětného zapnutí motorů, frekvenční ochranou, ochranou proti tepelnému přetížení a přerušovaného zemního spojení, citlivou zemní ochranou, automatikou opětného zapnutí, lokátorem poruch a ochranou při selhání vypínače.

##### Všeobecné vlastnosti

- Výkonný 32bitový mikroprocesorový systém
- Úplně digitální zpracování měřených hodnot a ovládání
- Úplně galvanické oddělení zabezpečené proti rušení od vnitřních měřicích, ovládacích a napájecích obvodů rozvodny převodníky měřených hodnot, moduly binárních vstupů a výstupů a střídavým nebo SS převodníkem
- Plný rozsah funkcí pro úkoly, které jsou nutné pro chránění a ovládání vývodů nebo přípojnice
- Jednoduchá obsluha zobrazovacím a ovládacím panelem nebo prostřednictvím připojeného PC
- Trvalý výpočet a zobrazování měřených a vypočtených hodnot s možností ukládání min/max měřených hodnot a dlouhodobých středních hodnot
- Možnost ukládání poruchových hlášení posledních osmi poruch v síti s reálným časem a okamžitých hodnot pro zapisovač poruch pro největší časový rozsah 5 sekund
- Trvalá kontrola měřených veličin, hardwaru a softwaru přístroje
- Komunikace s centrálními řídicími a paměťovými zařízeními sériovým rozhraním, volitelně datovým vedením, modemem nebo optickým vodičem

- Hodiny jištěné baterií
- Počítadlo provozních hodin
- Indikátor stavu všech binárních I/O, testování systémového rozhraní a možnost ovlivňování informací na sériovém rozhraní během testovacího provozu

#### Vlastnosti jednotlivých typů ochrany SIPROTEC 7SJ63

##### Nadproudová ochrana

- Jeden proudově závislý stupeň a dva proudově nezávislé stupně pro fázové proudy, pro zemní proud  $I_E$  popř. součtový proud  $3I_0$
- Možnost použití dvoufázového provozu ( $I_{L1}, I_{L3}$ )
- Volba uživatelem definované charakteristiky nebo možnost výběru z různých charakteristik pro proudově závislou ochranu
- Možnost nezpožděného vypnutí při zapnutí do zkratu u libovolného stupně
- Zapínací stabilizace druhou harmonickou

##### Zemní zkratová ochrana

- Jedná se o nadproudovou ochranu s jedním proudově závislým stupněm a dvěma nezávislými stupni pro vysokoohmové zemní poruchy v uzemněných sítích
- Volba uživatelem definované charakteristiky nebo možnost výběru z různých charakteristik pro proudově závislou ochranu
- Možnost nezpožděného vypnutí při zapnutí do zkratu u libovolného stupně
- Zapínací stabilizace druhou harmonickou

##### Směrová nadproudová ochrana

- Určení směru se provádí zvlášť pro každou fázi a odděleně pro fázové a zemní poruchy
- Použití po třech fázových a zemních stupních

##### Jednofázová nadproudová ochrana

- Měřený zemní proud je vyhodnocován citlivým nebo necitlivým zemním proudovým transformátorem
- Nasaditelná jako nádobová ochrana proti nedovoleným svodovým proudům

##### Napětová ochrana

- Dvoustupňová detekce podpětí souslednou složkou napětí
- Volitelně nastavitelné proudové kritérium, což je dodatečnou podmínkou pro uvolnění

- Oddělené dvoustupňové vyhodnocování přepětí největším z přivedených napětí popř. detekce zpětné složky napětí
- Nastavitelný přídržný poměr

#### Ochrana proti proudové nesymetrii

- Realizována prostřednictvím vyhodnocení zpětné složky proudů

#### Citlivá zemní ochrana

- Detekce zbytkového napětí výpočtem z fázových napětí nebo prostřednictvím měření
- Dvoustupňové měření zemních proudů
- Určení fáze, postižené zemním spojením, pro nasazení v izolovaných i kompenzovaných sítích
- Nadproudový stupeň s nezávislým nebo proudově závislým zpožděním
- Každý stupeň může být nastaven směrově (s nastavitelnou směrovou charakteristikou) nebo nesměrově

#### Automatika opětného zapnutí

- Jednonásobná nebo vícenásobná
- Oddělené časy pro jednotlivé impulsy
- Možno nastavit, které nadproudové nebo zemní stupně mohou s automatikou pracovat
- Oddělené programy pro zemní a fázové poruchy
- Interakce ke stupňům nadproudové a zemní ochrany – možné blokování nebo nezpožděné vypnutí

## 5 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ PRO NASTAVENÍ OCHRAN [3]

### Zkratové hodnoty rozvodny Ropice 110/22 kV

U [kV]	S <sub>ks3</sub>	I <sub>ks3</sub>	S <sub>ks1</sub>	I <sub>ks1</sub>
110	[MVA]	[kA]	[MVA]	[kA]
max	2512,40	13,19	2307,60	12,11
min	616,30	3,23	434,50	2,28

Tab.2 – Zkratové hodnoty rozvodny na straně 110 kV

### Parametry transformátorů T102 a T103

Trafo	S <sub>nT</sub>	U <sub>n1T</sub>	U <sub>n2T</sub>	u <sub>k</sub>	ΔP <sub>k</sub>
	[MVA]	[kV]	[kV]	[%]	[kW]
T102	40	110	23	10,96	240
T103	40	110	23	11,2	240

Tab.3 – Parametry transformátorů rozvodny

Výpočet maximální a minimální zkratové reaktance na straně 110 kV:

$$X_{S1\min(1)} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}I_{k3\max}''} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 13,19} = 5,29639 \Omega$$

$$X_{S1\max(1)} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}I_{k3\min}''} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 3,23} = 19,66208 \Omega$$

Výpočet převodového poměru zohledňující skutečné hodnoty provozovaných napětí:

$$p_p = \frac{U_{n1T}}{U_{n2T}} \cdot \frac{U_{V2}}{U_{V1}} = \frac{110}{23} \cdot \frac{23}{115} = 0,95652$$

Výpočet zkratových reaktancí sítě přepočtených na stranu 22 kV:

$$X_{S2\min(1)} = \frac{U_{n2T}^2}{U_{n1T}^2} \cdot \frac{1}{p_p^2} \cdot X_{S1\min(1)} = \frac{23^2}{110^2} \cdot \frac{1}{0,9565^2} \cdot 5,29639 = 0,25309 \Omega$$

$$X_{S2\max(1)} = \frac{U_{n2T}^2}{U_{n1T}^2} \cdot \frac{1}{p_p^2} \cdot X_{S1\max(1)} = \frac{23^2}{110^2} \cdot \frac{1}{0,9565^2} \cdot 19,66208 = 0,93957 \Omega$$

Výpočet pro transformátor T102:

$$R_{T102(1)} = \frac{\Delta P_k U^2}{S_T^2} = \frac{240 \cdot 10^3 (23 \cdot 10^3)^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = 0,07935 \Omega$$

$$Z_{T102(1)} = \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_{n2T}^2}{S_{nT}} = \frac{10,96}{100} \cdot \frac{23^2}{40} = 1,44946 \Omega$$

$$X_{T102(1)} = \sqrt{Z_{T102(1)}^2 - R_{T102(1)}^2} = \sqrt{1,44946^2 - 0,07935^2} = 1,44729 \Omega$$

Výpočet pro transformátor T103:

$$R_{T103(1)} = \frac{\Delta P_k U^2}{S_T^2} = \frac{240 \cdot 10^3 (23 \cdot 10^3)^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = 0,07935 \Omega$$

$$Z_{T103(1)} = \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_{n2T}^2}{S_{nT}} = \frac{11,2}{100} \cdot \frac{23^2}{40} = 1,4812 \Omega$$

$$X_{T103(1)} = \sqrt{Z_{T103(1)}^2 - R_{T103(1)}^2} = \sqrt{1,4812^2 - 0,07935^2} = 1,47907 \Omega$$

Výpočet celkové maximální a minimální zkratové reaktance na přípojnicích 22 kV ze strany T102:

$$X_{\min(1)} = X_{S2 \min(1)} + X_{T101(1)} = 0,25309 + 1,44729 = 1,70038 \Omega$$

$$X_{\max(1)} = X_{S2 \max(1)} + X_{T101(1)} = 0,93957 + 1,44729 = 2,38686 \Omega$$

Výpočet celkové maximální a minimální zkratové reaktance na přípojnicích 22 kV ze strany T103:

$$X_{\min(1)} = X_{S2 \min(1)} + X_{T102(1)} = 0,25309 + 1,47907 = 1,73216 \Omega$$

$$X_{\max(1)} = X_{S2 \max(1)} + X_{T102(1)} = 0,93957 + 1,47907 = 2,41864 \Omega$$

Výpočet celkové impedance s uvažováním činného odporu transformátoru ze strany T102:

$$Z_{\min(1)} = \sqrt{X_{\min(1)}^2 + R_{T101(1)}^2} = \sqrt{1,70038^2 + 0,07935^2} = 1,70223 \Omega$$

$$Z_{\max(1)} = \sqrt{X_{\max(1)}^2 + R_{T101(1)}^2} = \sqrt{2,38686^2 + 0,07935^2} = 2,38818 \Omega$$

Výpočet celkové impedance s uvažováním činného odporu transformátoru ze strany T103:

$$Z_{\min(1)} = \sqrt{X_{\min(1)}^2 + R_{T102(1)}^2} = \sqrt{1,73216^2 + 0,07935^2} = 1,73398 \Omega$$

$$Z_{\max(1)} = \sqrt{X_{\max(1)}^2 + R_{T101(1)}^2} = \sqrt{2,41864^2 + 0,07935^2} = 2,41994 \Omega$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového proudu ze strany T102:

$$I''_{k2\min} = \frac{U_n}{2Z_{\max(1)}} = \frac{23}{2.2,38818} = 4,81538 \text{ kA}$$

$$I''_{k3\max} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_{\min(1)}} = \frac{1,1.23}{\sqrt{3}.1,70223} = 8,58107 \text{ kA}$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového proudu ze strany T103:

$$I''_{k2\min} = \frac{U_n}{2Z_{\max(1)}} = \frac{23}{2.2,41994} = 4,75218 \text{ kA}$$

$$I''_{k3\max} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_{\min(1)}} = \frac{1,1.23}{\sqrt{3}.1,73398} = 8,42395 \text{ kA}$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového výkonu a reaktance ze strany T102:

$$S''_{k\min} = \sqrt{3}U_{V2}I''_{k2\min} = \sqrt{3}.23.10^3.4,81538.10^3 = 191,831 \text{ MVA}$$

$$S''_{k\max} = \sqrt{3}U_{V2}I''_{k3\max} = \sqrt{3}.23.10^3.8,58107.10^3 = 341,845 \text{ MVA}$$

$$X''_{k\min} = \frac{1,1.S''_{k\max}}{3I_{k3\max}^2} = \frac{1,1.341,845.10^6}{3.(8,58107.10^3)^2} = 1,70223 \Omega$$

$$X''_{k\max} = \frac{S''_{k\min}}{3I_{k2\min}^2} = \frac{191,831.10^6}{3.(4,81538.10^3)^2} = 2,75763 \Omega$$

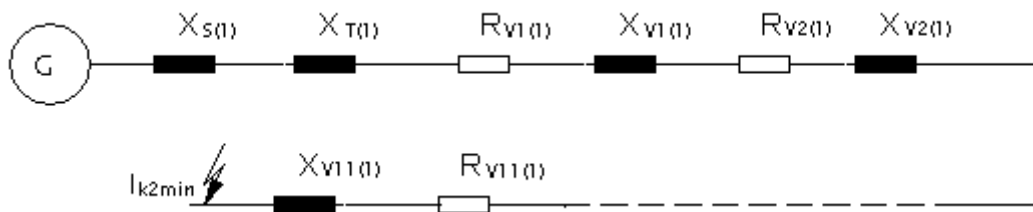
Výpočet minimálního a maximálního zkratového výkonu a reaktance ze strany T103:

$$S''_{k\min} = \sqrt{3}U_{V2}I''_{k2\min} = \sqrt{3}.23.10^3.4,75218.10^3 = 189,313 \text{ MVA}$$

$$S''_{k\max} = \sqrt{3}U_{V2}I''_{k3\max} = \sqrt{3}.23.10^3.8,42395.10^3 = 335,586 \text{ MVA}$$

$$X''_{k\min} = \frac{1,1.S''_{k\max}}{3I_{k3\max}^2} = \frac{1,1.335,586.10^6}{3.(8,42395.10^3)^2} = 1,73398 \Omega$$

$$X''_{k\max} = \frac{S''_{k\min}}{3I_{k2\min}^2} = \frac{189,313.10^6}{3.(4,75218.10^3)^2} = 2,79430 \Omega$$

Příklad výpočtu pro vedení VN50

Obr.13 – Náhradní schéma pro vedení VN 50

Výpočet činných odporů jednotlivých úseků vedení VN 50:

- 1.úsek :  $R_{V1} = R_{V1K} l_1 = 0,125 \cdot 0,081 = 0,0101 \Omega$
- 2.úsek :  $R_{V2} = R_{V2K} l_2 = 0,285 \cdot 0,011 = 0,0031 \Omega$
- 3.úsek :  $R_{V3} = R_{V3K} l_3 = 0,259 \cdot 2,152 = 0,5574 \Omega$
- 4.úsek :  $R_{V4} = R_{V4K} l_4 = 0,285 \cdot 0,355 = 0,1012 \Omega$
- 5.úsek :  $R_{V5} = R_{V5K} l_5 = 0,259 \cdot 0,683 = 0,1769 \Omega$
- 6.úsek :  $R_{V6} = R_{V6K} l_6 = 0,259 \cdot 1,926 = 0,4988 \Omega$
- 7.úsek :  $R_{V7} = R_{V7K} l_7 = 0,259 \cdot 0,705 = 0,1826 \Omega$
- 8.úsek :  $R_{V8} = R_{V8K} l_8 = 0,259 \cdot 0,448 = 0,1160 \Omega$
- 9.úsek :  $R_{V9} = R_{V9K} l_9 = 0,259 \cdot 1,174 = 0,3041 \Omega$
- 10.úsek :  $R_{V10} = R_{V10K} l_{10} = 0,259 \cdot 2,202 = 0,5703 \Omega$
- 11.úsek :  $R_{V11} = R_{V11K} l_{11} = 0,259 \cdot 1,312 = 0,3398 \Omega$

Výpočet reaktancí jednotlivých úseků vedení VN 50:

- 1.úsek :  $X_{V1} = X_{V1K} l_1 = 0,113 \cdot 0,081 = 0,0092 \Omega$
- 2.úsek :  $X_{V2} = X_{V2K} l_2 = 0,320 \cdot 0,011 = 0,0035 \Omega$
- 3.úsek :  $X_{V3} = X_{V3K} l_3 = 0,421 \cdot 2,152 = 0,9060 \Omega$
- 4.úsek :  $X_{V4} = X_{V4K} l_4 = 0,320 \cdot 0,355 = 0,1136 \Omega$
- 5.úsek :  $X_{V5} = X_{V5K} l_5 = 0,421 \cdot 0,683 = 0,2875 \Omega$
- 6.úsek :  $X_{V6} = X_{V6K} l_6 = 0,421 \cdot 1,926 = 0,8108 \Omega$
- 7.úsek :  $X_{V7} = X_{V7K} l_7 = 0,421 \cdot 0,705 = 0,2968 \Omega$
- 8.úsek :  $X_{V8} = X_{V8K} l_8 = 0,421 \cdot 0,448 = 0,1886 \Omega$



$$9.\text{úsek} : X_{V9} = X_{V9K} I_9 = 0,421.1,174 = 0,4943 \Omega$$

$$10.\text{úsek} : X_{V10} = X_{V10K} I_{10} = 0,421.2,202 = 0,9270 \Omega$$

$$11.\text{úsek} : X_{V11} = X_{V11K} I_{11} = 0,421.1,312 = 0,5524 \Omega$$

Suma činných odporů vedení VN 50:

$$\sum_{i=1}^{11} R_{Vi} = 0,0101 + 0,0031 + 0,5574 + 0,1012 + 0,1769 + 0,4988 + 0,1826 + 0,1160 + 0,3041 \\ + 0,5703 + 0,3398 = 2,8603 \Omega$$

Suma reaktancí vedení VN 50:

$$\sum_{i=1}^{11} X_{Vi} = 0,0092 + 0,0035 + 0,9060 + 0,1136 + 0,2875 + 0,8108 + 0,2968 + 0,1886 + 0,4943 \\ + 0,9270 + 0,5524 = 4,5897 \Omega$$

Výpočet maximálního třífázového ráz. zkratového proudu pro první úsek vedení VN 50:

$$I''_{k3\max 1} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_{V1}^2 + (X''_{k\min} + X_{V1})^2}} = \frac{1,1.22.10^3}{\sqrt{3}\sqrt{0,0101^2 + (1,70223 + 0,0092)^2}} = 8,16468 \text{ kA}$$

Pro každý další úsek je analogicky proveden výpočet třífázového rázového zkratového proudu a z hodnot  $I_{k3\max}$  jsou vypočítány maximální dovolené časy pro zkratovou spoušť.

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro první úsek vedení VN50:

$$t_{\text{vyp1}} = \left( \frac{S.K}{I''_{k3\max} . k_e} \right)^2 = \left( \frac{240.94}{8,58107.10^3.1,02} \right)^2 = 6,6435 \text{ s}$$

Při výpočtu  $t_{\text{vyp}}$  se vždy bere v úvahu zkratový proud  $I_{k3\max}$  o úsek vedení výše, tzn. zde se výpočet vypínacího času odvodil z maximálního třífázového zkratového proudu rozvodny.

Výpočet minimálního dvoufázového zkratového proudu pro první úsek vedení VN 50:

$$I''_{k2\min 1} = \frac{U_n}{2\sqrt{R_{V1}^2 + (X''_{k\max} + X_{V1})^2}} = \frac{22.10^3}{2\sqrt{0,01^2 + (2,79430 + 0,009)^2}} = 3,9239 \text{ kA}$$

Nejnižší dvoufázový zkratový proud bude na posledním úseku vedení. Podle této hodnoty je nutné nastavit zkratový stupeň ochrany pro dané vedení z rozvodny.

Výpočet minimálního dvoufázového zkratového proudu pro poslední úsek vedení VN 50:

$$I''_{k2\min11} = \frac{U_n}{2\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{11} R_{Vi}\right)^2 + \left(X''_{k\max} + \sum_{i=1}^{11} X_{Vi}\right)^2}} = \frac{22 \cdot 10^3}{2\sqrt{2,8603^2 + (2,79430 + 4,5897)^2}} = 1,3891 \text{ kA}$$

Specifikace jednotlivých úseků vedení z rozvodny R22 kV Ropice

V následujících tabulkách jsou uvedené třífázové maximální ráz. zkratové proudy, dvoufázové minimální ráz. zkratové proudy a maximální dovolené vypínací časy pro každý úsek jednotlivých vedení z rozvodny. Zkratový stupeň nadproudové ochrany pro každé vedení nesmí mít vypínací čas delší než je nejkratší čas určitého úseku uvedený v tabulce.

Vedení VN 06

Úsek R ROP><US_FM_3054	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_FM_3242	30	240	AXEKVCEY	417	8,192	3,932	6,64
	2775	70	AlFe	225	4,448	2,637	0,62
US_FM_3242><US_FM_3284	1960	70	AlFe	225	3,272	2,093	2,10
US_FM_3284><US_FM_3283	2584	70	AlFe	225	2,409	1,632	3,89
US_FM_3283><US_FM_3444	2320	70	AlFe	225	1,943	1,357	7,17
US_FM_3444><US_FM_3282	44	70	AlFe	225	1,936	1,353	11,02
US_FM_3282><US_FM_3054	2499	70	AlFe	225	1,601	1,144	11,10
US_FM_3054><US_FM_3053	592	70	AlFe	225	1,538	1,103	16,23
US_FM_3053><US_FM_3452	2392	70	AlFe	225	1,327	0,964	17,59
US_FM_3452><R NOS	888	240	AXEKVCEY	285	1,299	0,946	277,93

1: Úsek US_FM_3284><FM_9282	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3284><US_FM_3048	1556	70	AlFe	225	2,693	1,790	3,89
US_FM_3048><US_FM_3386	1455	70	AlFe	225	2,307	1,573	5,74
US_FM_3386><US_FM_3479 (06Flr6)	1063	50	AlFe	177	2,036	1,416	3,99
US_FM_3479 (06Flr6)><FM_7351	3360	70	AlFe	225	1,571	1,126	10,04
FM_7351><FM_9282	883	50	AlFe	177	1,458	1,053	8,61
	252	120	AXEKVCEY	163	1,427	1,033	57,54

1-1: US_FM_3479 ><FM_7345	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3479 ><FM_7342	1432	50	AlFe	177	1,753	1,244	5,12
FM_7342><FM_7345	2315	42	AlFe 42/7	163	1,437	1,043	4,88

2: Úsek US_FM_3283><FM_7319	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3283><US_FM_3385	1911	50	AlFe	177	1,925	1,351	3,66
US_FM_3385><FM_7314	1143	50	AlFe	177	1,715	1,221	5,73
FM_7314><FM_7316	594	35	AlFe	150	1,616	1,159	3,54
FM_7316><US_FM_3026	375	50	AlFe	177	1,563	1,125	8,13

US_FM_3026><FM_7317	709	35	AlFe	150	1,465	1,062	4,26
FM_7317><FM_7319	1840	70	AlFe	225	1,311	0,958	19,40
<b>3: US_FM_3444&gt;&lt;US_FM_3297</b>	<b>I</b>	<b>S</b>	<b>Typ</b>	<b>I<sub>n</sub></b>	<b>I<sub>k3max</sub></b>	<b>I<sub>k2min</sub></b>	<b>t<sub>vyp</sub></b>
	<b>[m]</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>		<b>[A]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[s]</b>
US_FM_3444><US_FM_3444	81	70	AlFe	225	1,930	1,349	11,02
	1402	70	AlFe70/11	245	1,736	1,229	11,17
US_FM_3444><US_FM_3142	168	35	Cu	130	1,711	1,213	3,45
	172	35	Cu	130	1,686	1,197	3,55
	719	70	AlFe70/11	245	1,605	1,146	14,65
US_FM_3142><US_FM_3297	844	35	AlFe	150	1,487	1,072	4,04
<b>3-1: US_FM_3142&gt;&lt;FM_7293</b>	<b>I</b>	<b>S</b>	<b>Typ</b>	<b>I<sub>n</sub></b>	<b>I<sub>k3max</sub></b>	<b>I<sub>k2min</sub></b>	<b>t<sub>vyp</sub></b>
	<b>[m]</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>		<b>[A]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[s]</b>
US_FM_3142><FM_7293	1305	70	AlFe	225	1,560	1,117	14,22
	111	120	AXEKVCEY	163	1,545	1,107	50,24
	2029	70	AlFe	225	1,360	0,987	17,44
	509	35	AlFe	150	1,307	0,952	5,63

Tab.4 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 06

Vedení VN 39

<b>Úsek R ROP&gt;&lt;US_KA_3225</b>	<b>I</b>	<b>S</b>	<b>Typ</b>	<b>I<sub>n</sub></b>	<b>I<sub>k3max</sub></b>	<b>I<sub>k2min</sub></b>	<b>t<sub>vyp</sub></b>
	<b>[m]</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>		<b>[A]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[s]</b>
R ROP><US_KA_3256	90	240	AXEKVCEY	417	8,159	3,922	5,69
	1209	120	AlFe	357	6,235	3,307	1,84
US_KA_3256><US_KA_3299 (39Flr7)	1458	120	AlFe	357	4,809	2,765	3,15
	157	110	AlFe110/22	328	4,690	2,716	4,44
US_KA_3299><US_KA_506	3478	110	AlFe110/22	328	3,010	1,936	4,67
US_KA_506><US_KA_3022	1557	95	AlFe	284	2,566	1,701	8,46
US_KA_3022><US_KA_3225	1678	95	AlFe	284	2,211	1,501	11,64
	2288	110	AlFe110/22	328	1,877	1,303	21,03
<b>1: Úsek US_KA_3299&gt;&lt;R CTE</b>	<b>I</b>	<b>S</b>	<b>Typ</b>	<b>I<sub>n</sub></b>	<b>I<sub>k3max</sub></b>	<b>I<sub>k2min</sub></b>	<b>t<sub>vyp</sub></b>
	<b>[m]</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>		<b>[A]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[s]</b>
US_KA_3299><US_KA_595	209	110	AlFe110/22	328	4,590	2,675	4,67
US_KA_595><US_KA_3110	790	110	AlFe110/22	328	4,240	2,527	4,88
US_KA_3110><KA_0958 (R CTE)	24	110	AlFe110/22	328	4,230	2,522	5,72
	897	240	ANKTOYPV	353	4,052	2,445	15,16
<b>2: Úsek US_KA_3022&gt;&lt;KA_0562</b>	<b>I</b>	<b>S</b>	<b>Typ</b>	<b>I<sub>n</sub></b>	<b>I<sub>k3max</sub></b>	<b>I<sub>k2min</sub></b>	<b>t<sub>vyp</sub></b>
	<b>[m]</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>		<b>[A]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[kA]</b>	<b>[s]</b>

US_KA_3022><US_KA_0510	1032	50	AlFe	185	2,281	1,543	3,22
	230	70	AlFe70/11	245	2,236	1,517	8,00
	189	50	AlFe	185	2,192	1,492	4,25
US_KA_0510><US_KA_0544	360	70	AlFe	225	2,123	1,452	8,66
	1162	70	AlFe	225	1,925	1,335	9,24
US_KA_0544><KA_0562	1236	70	AlFe70/11	245	1,761	1,236	11,23

Tab.5 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 39

Vedení VN 50

Úsek R ROP><US_FM_3287	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><FM_9244	81	240	AXEKVCEY	417	8,164	3,924	6,64
	11	120	ADX_K	430	8,147	3,919	1,83
	2152	110	AFXz110/22	328	5,209	2,928	1,55
	355	120	ADX_K	430	4,962	2,831	4,51
	683	110	AFXz110/22	328	4,451	2,619	4,17
FM_9244><FM_9251	1926	110	AFXz110/22	328	3,439	2,154	5,19
FM_9251><US_FM_3240	705	110	AFXz110/22	328	3,173	2,022	8,69
US_FM_3240><US_FM_3375	448	110	AFXz110/22	328	3,023	1,945	10,21
US_FM_3375><FM_9236	1174	110	AFXz110/22	328	2,691	1,769	11,24
FM_9236><US_FM_3288	2202	110	AFXz110/22	328	2,229	1,511	14,19
US_FM_3288><US_FM_3287	1312	110	AFXz110/22	328	2,022	1,389	20,69

1: Úsek US_FM_3240><FM_7594	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3240><FM_7596	775	70	AlFe	225	2,888	1,877	4,13
FM_7596><US_FM_3027	168	70	AlFe70/11	245	2,835	1,849	4,99
US_FM_3027><FM_7595	1140	50	AlFe	177	2,441	1,641	2,64
FM_7595><FM_7594	1063	42	AlFe 42/7	163	2,162	1,485	2,51

Tab.6 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 50

Vedení VN 71

Úsek R ROP><FM_0954 (R LYZ)	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_FM_3002	31	240	AXEKVCEY	417	8,191	3,932	6,64
	3327	95	AlFe	284	4,218	2,523	1,14
US_FM_3002><US_FM_3196	1565	95	AlFe	284	3,393	2,138	4,31
US_FM_3196><US_FM_3285	1364	95	AlFe	284	2,893	1,883	6,66
US_FM_3285><FM_0954 (R LYZ)	39	95	AlFe	284	2,881	1,877	9,16
	1654	120	AlFe	357	2,475	1,654	14,73
	493	240	ANKTOYPV	353	2,447	1,639	68,38
	39	70	AlFe	225	2,437	1,633	6,95
	1151	240	ANKTOYPV	353	2,372	1,598	70,55

1: Úsek US_FM_3196><FM_9239 (T92782)	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3196><FM_9239 (T92782)	1802	95	AlFe	284	2,762	1,813	6,66
	283	240	AXEKVCEY	417	2,738	1,801	64,13

2: Úsek US_FM_3285><FM_7569	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>kmax</sub>	I <sub>kmin</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3285><US_FM_3198	1636	110	AlFe110/22	328	2,481	1,658	12,28
US_FM_3198><FM_7570	1894	110	AlFe110/22	328	2,129	1,455	16,70
FM_7570><FM_7567	2828	70	AlFe	225	1,700	1,199	9,19
FM_7567><FM_7569	1279	50	AlFe	177	1,525	1,090	7,34

Tab.7 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 71

Vedení VN 105

Úsek R ROP><US_KA_3197	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_KA_3254	96	240	AXEKVCEY	417	8,156	3,921	6,64
	2656	120	AlFe	357	4,816	2,768	1,84
	319	110	AlFe110/22	328	4,580	2,670	4,43
US_KA_3254><US_KA_3188	1032	110	AlFe110/22	328	3,948	2,392	4,90
US_KA_3188><US_KA_3280	2499	110	AlFe110/22	328	2,947	1,903	6,59
US_KA_3280><US_KA_3013	1028	110	AlFe110/22	328	2,666	1,754	11,83
US_KA_3013><US_KA_3197	1757	110	AlFe110/22	328	2,292	1,546	14,46

1: Úsek US_KA_3254><US_FM_3297	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_KA_3254><US_KA_3053	72	42	AlFe42/7	163	4,520	2,646	0,71
	2652	70	AlFe	225	3,066	1,976	2,04
US_KA_3053><US_FM_3297	1847	70	AlFe	225	2,482	1,665	4,43

2: Úsek US_KA_3013><KA_0525	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_KA_3013><KA_0525	1506	70	AlFe70/11	245	2,316	1,562	5,85

Tab.8 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 105

Vedení VN 108

Úsek R ROP><R CTE	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><KA_0958 (R CTE)	151	240	AXEKVCEY	417	8,126	3,913	6,64
	2955	120	SAX	208	5,039	2,869	1,85
	984	110	AlFe 110/22	328	4,307	2,561	4,05
	905	240	ANKTOYPV	356	4,161	2,500	14,63

Tab.9 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 108

Vedení VN 127

Úsek R ROP><KA_9344 (ČD Čes.Těšín)	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_KA_3210	80	240	AXEKVCEY	417	8,164	3,924	6,64
	1889	150	AlFe	387	5,525	3,045	2,87
	152	150	AlFe	387	5,382	2,991	6,26
US_KA_3210><KA_9344	501	480	2xAXEKVCEY240	2x417	5,314	2,965	67,57

Tab.10 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 127

Vedení VN 128

Úsek R ROP><KA9344 (ČD Čes.Těšín)	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_KA_3210	80	240	AXEKVCEY	417	8,164	3,924	6,64
	2041	150	AlFe	387	5,382	2,991	2,87
	501	480	2xAXEKVCEY240	2x417	5,314	2,965	67,57

Tab.11 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 128

Vedení VN 145

Úsek R ROP><R JAD	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_FM_3417	89	240	AXEKVCEY	417	8,160	3,922	6,64
	12	110	ADX_K	430	8,141	3,917	1,54
US_FM_3417><US_FM_3044	1882	110	AlFe110/22	328	5,462	3,026	1,55
	354	110	ADX_K	430	5,194	2,924	3,45
	3842	110	AlFe110/22	328	3,084	1,976	3,81
US_FM_3044><R JAD	4368	110	AlFe110/22	328	2,097	1,434	10,80
	7260	110	ADX_K	430	1,444	1,034	23,37
	123	120	AXEKVCEY	417	1,441	1,032	58,64

1: US_FM_3044><US_FM_3046	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
US_FM_3044><US_FM_3408	149	240	AXEKVCEY	417	3,069	1,969	51,43
US_FM_3408><US_FM_3046	200	70	AlFe	225	2,996	1,932	4,42

Tab.12 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 145

Vedení VN 361

Úsek R ROP><KA_9370 (Kovona)	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_KA_3193	147	240	AXEKVCEY	417	8,128	3,913	6,64
	3818	120	SAX	430	4,447	2,630	1,85
US_KA_3193><KA_9370	490	240	AXEKVCEY	417	4,345	2,587	24,74
KA_9370><KA_9371 (vn362)	1106	240	AXEKVCEY	417	4,130	2,494	25,91
KA_9371><KA_933	1610	240	AXEKVCEY	417	3,848	2,368	28,68

Tab.13 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 361



Vedení VN 362:

Úsek R ROP><KA_9370 (Kovona)	I	S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>k3max</sub>	I <sub>k2min</sub>	t <sub>vyp</sub>
	[m]	[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[kA]	[kA]	[s]
R ROP><US_KA_3192	147	240	AXEKVCEY	417	8,128	3,913	6,64
	3818	120	SAX	430	4,447	2,630	1,85
US_KA_3192><KA_9330	63	240	AXEKVCEY	417	4,434	2,625	24,74
KA_9330><KA_9371	1610	240	AXEKVCEY	417	4,116	2,488	24,89
KA_9371><KA_9370	1106	240	AXEKVCEY	417	3,920	2,400	28,88

Tab.14 – Parametry, zkratové hodnoty a dovolené vypínací časy úseků vedení VN 362

Parametry venkovních vedení a kabelů použitých ve výše uvedených úsecích jednotlivých vedení

S	Typ	I <sub>n</sub>	I <sub>c</sub>	K	R <sub>k</sub>	X <sub>k</sub>
[mm <sup>2</sup> ]		[A]	[A/km]	[-]	[Ω/km]	[Ω/km]
35	AlFe	150	0,160	94	0,778	0,428
42	AlFe 42/7	163	0,160	94	0,687	0,402
50	AlFe	177	0,160	94	0,696	0,438
70	AlFe	225	0,160	94	0,432	0,431
95	AlFe	284	0,160	94	0,319	0,430
110	AlFe110/22	328	0,160	94	0,259	0,421
120	AlFe	357	0,160	94	0,234	0,421
150	AlFe	387	0,160	94	0,200	0,417
120	AXEKVCEY	163	3,600	94	0,125	0,113
240	AXEKVCEY	417	3,600	87	0,125	0,113
480	2xAXEKVCEY240	2x417	2x3,600	94	0,063	0,057
110	ADX_K	430	0,040	94	0,285	0,320
120	ADX_K	430	0,040	94	0,285	0,320
35	Cu	130	0,160	94	0,614	0,428
110	AFXz110/22	328	0,160	94	0,259	0,421
240	ANKTOYPV	353	4,315	70	0,129	0,088
120	SAX	430	0,040	94	0,285	0,320

Tab.15 – Parametry venkovních vedení a kabelů použitých ve výše uvedených úsecích jednotlivých vedení

## 6 NASTAVENÍ NADPROUDOVÝCH OCHRAN [3]

Nadproudové ochrany nastavují dle nejnižších hodnot dovoleného proudu hlavních vedení a minimálního zkratového proudu jednotlivých odboček daného vedení. Jmenovitý dovolený proud daného vedení je rozhodující pro působení prvního stupně nadproudové ochrany. Pro určení rozběhového proudu zkratového stupně vycházíme z minimálního zkratového proudu jednotlivých odboček vedení, čímž je dvoupólový zkratový proud. Výpočet trojpólového zkratového proudu pro jednotlivé odbočky vedení je nutný pro určení nejvyššího možného vypínacího času zkratového stupně dle následujícího vztahu:

$$t_k \leq \left( \frac{S \cdot K}{I_{th}} \right)^2 ; I_{th} = I_{k3 \max}'' k_e ; k_e = \sqrt{m+n}$$

V tabulce 16 jsou uvedeny tyto hodnoty pro každé vedení.

VEDENÍ	$I_n$	$I_{k2min}$	$t_k$
	[A]	[A]	[s]
VN 06	225	946	0,62
VN 39	357	1236	1,84
VN 50	328	1389	1,83
VN 71	284	1090	1,14
VN 105	357	1546	0,71
VN 108	208	2500	1,85
VN 127	387	2965	2,87
VN 128	387	2965	2,87
VN 145	328	1032	1,54
VN 361	417	2368	1,85
VN 362	417	2400	1,85

Tab.16 – Dovolené zatěžovací proudy, nejnižší dvoufázové zkratové proudy a nejvyšší dovolené vypínací časy všech vedení rozvodny

Pro výpočet rozběhového proudu pro nadproudový stupeň je volen koeficient bezpečnosti  $k_b = 1,2$  pro venkovní vedení a pro kabel  $k_b = 1,05$  z důvodu větší citlivosti na přetížení kabelu. Dále je nutné vždy provést kontrolu pro JTP. Výrobce udává, že JTP je možno trvale zatěžovat na 120 %  $I_n$ . Zároveň ale také neudává, jak dlouho je možné jej přetěžovat při vyšších hodnotách proudu než 120 %  $I_n$ , a proto by rozběhová hodnota proudu nadproudového stupně neměla přesáhnout 120 %  $I_n$ . Jmenovitý proud transformátoru  $I_n$  je 300 A u vedení VN 06. U všech zbývajících vedení činí 400 A. Převody  $p_i$  JTP jsou 300/1 A a 400/1 A.

Nastavení pro vedení VN 06

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

Rozběhová hodnota na primární straně JTP:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2 \cdot 225}{0,95} = 284,21 \text{ A}$$

Rozběhová hodnota na sekundární straně JTP:

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 290 / 300 = 0,966 \text{ A}$$

Nastavená hodnota na primární straně:

$$I_{r1pr} = 290 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k \min}}{k_c} = \frac{946}{1,5} = 630,66 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 630 / 300 = 2,1 \text{ A}$$

Nastavená hodnota na primární straně:

$$I_{r2pr} = 630 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 39

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2 \cdot 357}{0,95} = 450,95 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 460 / 400 = 1,15 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 460 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k \min}}{k_c} = \frac{1236}{1,5} = 824 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 820 / 400 = 2,05 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 820 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 50

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2.328}{0,95} = 414,32 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 420 / 400 = 1,05 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 420 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k \min}}{k_c} = \frac{1389}{1,5} = 926 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 920 / 400 = 2,3 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 920 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 71

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2.284}{0,95} = 358,74 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 360 / 400 = 0,9 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 360 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k \min}}{k_c} = \frac{1090}{1,5} = 726,66 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 720 / 400 = 1,8 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 720 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 105

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2.357}{0,95} = 450,94 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 460 / 400 = 1,15 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 460 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k\min}}{k_c} = \frac{1546}{1,5} = 1030,67 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 1030 / 400 = 2,575 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 1030 \text{ A}$$

#### Nastavení pro vedení VN 108

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2 \cdot 208}{0,95} = 262,74 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 270 / 400 = 0,675 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 270 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k\min}}{k_c} = \frac{2500}{1,5} = 1066,67 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 1060 / 400 = 2,65 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 1060 \text{ A}$$

#### Nastavení pro vedení VN 127

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2 \cdot 387}{0,95} = 488,84 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 490 / 400 = 1,225 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 490 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k\min}}{k_c} = \frac{2965}{1,5} = 1976,67 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 1970 / 400 = 4,925 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 1970 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 128

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2.387}{0,95} = 488,84 \text{ A} \quad I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 490 / 400 = 1,225 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 490 \text{ A}$$

Rozběhový proud  $I_{r1pr}$  je nutno u vedení VN 127 a VN 128 snížit na 480 A, abychom respektovali maximální dovolené zatížení JTP, což je 120 %  $I_n$  JTP.

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k \min}}{k_c} = \frac{2965}{1,5} = 1976,67 \text{ A} \quad I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 1970 / 400 = 4,925 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 1970 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 145

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,2.328}{0,95} = 414,32 \text{ A} \quad I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 420 / 400 = 1,05 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 420 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k \min}}{k_c} = \frac{1032}{1,5} = 688 \text{ A} \quad I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 680 / 400 = 1,7 \text{ A}$$

$$I_{r2pr} = 680 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN 361

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,05.417}{0,95} = 460,89 \text{ A} \quad I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 470 / 400 = 1,175 \text{ A}$$

$$I_{r1pr} = 470 A$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k\min}}{k_c} = \frac{2368}{1,5} = 1578,66 A$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 1570 / 400 = 3,925 A$$

$$I_{r2pr} = 1570 A$$

#### Nastavení pro vedení VN 362

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1pr} \geq \frac{k_b I_n}{k_p} = \frac{1,05 \cdot 417}{0,95} = 460,89 A$$

$$I_{r1sek} = I_{r1pr} / p_i = 470 / 400 = 1,175 A$$

$$I_{r1pr} = 470 A$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2pr} < \frac{I_{k\min}}{k_c} = \frac{2400}{1,5} = 1600 A$$

$$I_{r2sek} = I_{r2pr} / p_i = 1600 / 80 = 20 A$$

$$I_{r2pr} = 1600 A$$

#### Nastavení rozběhového času pro nadproudové a zkratové stupně

Při nastavování rozběhového času pro nadproudové stupně ochran rozvodny v Ropici je nutné zajistit selektivitu z důvodu nastavení ochran na dalších podružných rozvodnách v Třinci-Lyžbice, Českém Těšíně a Jablunkově, které jsou rovněž napájené z této rozvodny.

Časové odstupňování k zajištění selektivity je 0,3 s. V níže uvedené tabulce 17 je uvedené nastavení vypínacího času nadproudových ochran v jednotlivých podružných rozvodnách, což je nutné zohlednit. Není-li nutné zohlednit selektivitu, je čas zapůsobení nastaven na 1 s. U vedení VN 06 je použito časové odstupňování z důvodu nastavení časového působení 0,8 s na recloseru umístěného na tomto vedení.

Zkratový stupeň nastavuji standardně na čas zapůsobení  $t_k = 0$ , pokud není nutné zohlednit selektivitu. V jiných případech bereme do úvahy selektivitu, tzn. nastavení zkratových stupňů ochran na podružných rozvodnách popř. recloseru. Časový interval je rovněž 0,3 s. Ochrany jsou vždy použity nesměrové z důvodu napájení z jedné strany (hlavní napájecí rozvodna).

VEDENÍ	Podružná rozvodna	Nadproudová spoušť		Zkratová spoušť	
		$t_k[s]$ podružné rozvodny	$t_k[s]$ Ropice	$t_k[s]$ podružné rozvodny	$t_k[s]$ Ropice
VN06	recloser	0,8	1,1	0	0,3
VN39	Český Těšín	0,9	1,2	0,2	0,5
VN50	Třinec-Lyžbice	0,9	1,2	0,2	0,5
VN71	Třinec-Lyžbice	0,9	1,2	0,2	0,5
VN105			1,2		0,3
VN108	Český Těšín	1,1	1,4	0,2	0,5
VN127			1		0
VN128			1		0
VN145	Jablunkov	1	1,3	0,2	0,5
VN361			1		0
VN362			1		0

Tab.17 – Nastavené vypínací časy rozvodny Ropice a podružných rozvoden

Nastavení zemní směrové ochrany

Pro indikaci vysokoohmických poruch se volí nastavení  $I_0$  na 2 A a pro vyhodnocení směru se volí rozmezí úhlu  $+90^\circ$  do  $-80^\circ$ . Časové zpoždění se volí kvůli krátkodobým přerušovaným zemním spojení 0,15 – 0,20 s.

Nastavení proudové nesymetrie

Pro identifikaci přerušení vodiče (nedojde k zemnímu spojení, např. při přetržení izolovaného venkovního vodiče) vedení se volí nejnižší možné nastavení  $-10\%I_n$ . Časové zpoždění se volí 5 s.

Výsledné nastavení nadproudových a zkratových stupňů

VEDENÍ	Nadproudový stupeň		Zkratový stupeň	
	$I_{r1} > [A]$	$t [s]$	$I_{r2} >> [A]$	$t [s]$
VN06	290	1,1	630	0,3
VN39	460	1,2	820	0,5
VN50	420	1,2	920	0,5
VN71	360	1,2	720	0,5
VN105	460	1,2	1030	0,3
VN108	270	1,4	1060	0,5
VN127	480	1	1970	0
VN128	480	1	1970	0
VN145	420	1,3	680	0,5
VN361	470	1	1570	0
VN362	470	1	1600	0

Tab.18 – Nastavení nadproudového a zkratového chránění



## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh a nastavení elektrických ochran pro rozvodnu R22 kV Ropice. Další problematikou byl teoretický popis chránění se zaměřením na ochrany vedení a transformátorů, zhodnocení stávajícího stavu na rozvodně, výpočet zkratových poměrů a na základě tohoto nastavení nového chránění.

V rozvodně v Ropici bude provedeno rozšíření rozvodny 110 kV a rekonstrukce rozvodny 22 kV. Transformovna bude vybavena třetím transformátorem 110/22 kV, 40 MVA. Stávající ochrany jednotlivých vedení z rozvodny budou vyměněny za multifunkční ochrany s řízením a monitorováním vývodu Siprotec 7SJ 63, u kterých budou nastaveny nadproudové a zkratové stupně dle výše uvedených výpočtů, zemní směrová ochrana a ochrana proti proudové nesymetrii.

Rozběhový proud nadproudového stupně pro každé vedení rozvodny je nastaven dle nejnižšího dovoleného zátěžného proudu hlavního vedení. Nastavení rozběhového proudu zkratového stupně je dáno výpočtem dle nejnižšího dvoufázového rázového zkratového proudu ze všech úseků daného vedení.

Pro nadproudové i zkratové chránění je nutné zohlednit selektivitu působení kvůli nastavených ochran na podružných rozvodnách (popř. recloseru). Jedná se o podružné rozvodny v Českém Těšíně, Trinci – Lyžbice a Jablunkově. Nastavení vypínacího času nadproudových a zkratových stupňů je provedeno s časovým odstupňováním 0,3 s od podružné rozvodny. Pokud rozvodna v Ropici není spojena přes dané vedení s podružnou rozvodnou, tzn. není třeba zohlednit selektivitu vypínání, potom je vypínací čas ochrany nastaven u zkratového stupně na 0 s a u nadproudového stupně na 1 s. Hodnoty rozběhových proudů a vybavovacích časů ochran jsou uvedeny ve výše uvedených tabulkách.

Pro všechny úseky každého vedení je proveden také výpočet maximálního třífázového rázového zkratového proudu a z těchto údajů je proveden výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro každý úsek vedení. Tyto hodnoty musí být respektovány při nastavování vypínacího času zkratových stupňů. Tato podmínka je rovněž splněna.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### a) *Knihy, skripta*

- [1] DOHNÁLEK P.: *Ochrany pro průmysl a energetiku, Praha 1991*
- [2] HALUZÍK E.: *Ochrany a automatiky v elektrických sítích, VUT Brno 1985*
- [3] ČEZ DISTRIBUCE, A..S.: *Technická dokumentace*
- [4] BLOKŠA M.: *Indikace zemního spojení v sítích vn, Konference ČK CIRED 2005*
- [5] MEDVEC Z.: *Ochrany a automatiky v rozvodu, VŠB Ostrava 2001*
- [6] MOŽIEŠIK J.: *Technická dokumentace ČEZ Distribuce, a. s., Ostrava 2008*
- [7] HRADÍLEK Z.: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, Ostrava 2008*
- [8] HRADÍLEK Z.: *Elektroenergetika II*
- [9] CHLADNÝ V., HUDÁK D.: *Ochrany v elektrizačních soustavách*
- [10] GRYM A SPOL.: *Chránění II, 2004*
- [11] GRYM A SPOL.: *Kontrola činnosti elektrických ochran, Ostrava 1996*
- [12] DOHNÁLEK P.: *Provoz a údržba ochran v energetice, Praha 1989*
- [13] POPOV M.: *Skripta Delft University of Technology, listopad 2004, TU Delft*
- [14] SIEMENS: *Technický manuál 7SJ63*

### b) *Normy*

- [15] ČSN EN 60909-0                      Zkratové proudy v 3f střídavých soustavách, květen 2002
- [16] ČSN 333020                          Výpočet poměru při zkratech v 3f elektrizační soustavě, září 1992

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č.1:	Jednopolové schéma Ropice R 110/22 kV
Příloha č.2:	Štít Karviná
Příloha č.3:	Štít Třinec
Příloha č.4:	Vedení VN 06 Ropice
Příloha č.5:	Vedení VN 50, 145
Příloha č.6:	Vedení VN 39, 108, 127, 128
Příloha č.7:	Vedení VN 71
Příloha č.8:	Vedení VN 105
Příloha č.9:	Vedení VN 361, VN 362